

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra výrobních strojů a zařízení

Kontinuální měření vibrací ventilátorů pro technologii vytvrzování kamenné vlny
Continuous Measurement of fan Vibration for Hardening Stone Wool Technology

Student:

Jakub Štefek

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Jan Blata, Ph.D.

Ostrava 2014

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra výrobních strojů a konstruování

Zadání bakalářské práce

Student: **Jakub Štefek**
Studijní program: B2341 Strojírenství
Studijní obor: 2301R023 Technická diagnostika, opravy a udržování
Téma: **Kontinuální měření vibrací ventilátorů pro technologii vytvrzování kamenné vlny**
Continuous Measurement of Fan Vibration for Hardening Stone Wool Technology

Zásady pro vypracování:

V rámci bakalářské práce se zabývejte problematikou aplikace kontinuální diagnostiky pro měření vibrací ventilátorů. Rozeberte problematiku týkající se této aplikace a specifických potřeb provozu. Popište přístrojovou techniku a softwarové nastavení pro tuto aplikaci, zvolte vhodná místa pro umístění snímačů. Proveďte potřebná měření, včetně vyhodnocení naměřených dat.

V rámci zadání zpracujte:

1. Rešerši a analýzu dané problematiky.
2. Ideově technický návrh řešení dané problematiky.
3. Zpracujte aplikaci na daný objekt.
4. Proveďte konkrétní vyhodnocení.

Podrobnější specifikaci zadání nebo jeho úpravy provede vedoucí práce nebo firma ROCKWOOL, a.s.

Seznam doporučené odborné literatury:

JENČÍK, J. – VOLF, J. A KOL.: *Technická měření*. ČVUT v Praze 2003, 212 s., ISBN 80-01-02138-6

HELEBRANT, F. – ZIEGLER, J.: *Technická diagnostika a spolehlivost II – Vibrodiagnostika*. VŠB – TU Ostrava, Ostrava 2004, 1. vydání, 178 s., ISBN 80 – 248 – 0650 – 9.

KOPÁČEK, J. *Technická diagnostika hydraulických mechanismů*. Praha : SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1990. 159 s. ISBN 80-03-00308-3.

TŮMA, J.: *Zpracování signálů získaných z mechanických systémů užitím FFT*. Sdělovací technika Praha 1997, 174 s., ISBN 80-901936-1-7.

MILÁČEK, S.: *Měření a vyhodnocování mechanických veličin*. ČVUT v Praze 2001, 231 s., ISBN 80.01-02417-2

Podkladové materiály - ADASH s.r.o., Brüel Kjaer, SKF Ložiska a.s.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Jan Blata, Ph.D.**

Datum zadání: 17.02.2014

Datum odevzdání: 19.05.2014



doc. Dr. Ing. Ladislav Kovář
vedoucí katedry



doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem podklady a literaturu.

V Ostravě.....

.....

Jakub Štefek

Prohlašuji, že

- Byl jsem seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. – autorský zákon, zejména §35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití školního a §60 – školní dílo.
- Beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB – TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§35 odst. 3).
- Souhlasím s tím, že jeden výtisk bakalářské práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB –TUO k prezenčnímu nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o bakalářské práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB – TUO.
- Bylo sjednáno, že VŠB – TUO, v případě zájmu z její strany, uzavře licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu §12 odst. 4 autorského zákona.
- Bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souladem VŠB – TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB – TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do její skutečné výše)
- Beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 11/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě.....

.....
Jakub Štefek
Máchova 419
735 81, Bohumín

ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

ŠTEFEK, J. *Kontinuální měření vibrací pro technologii vytvrzování kamenné vlny*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra výrobních strojů a konstruování, 2014, 48 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Jan Blata, Ph.D.

Tématem bakalářské práce je vyhodnocení vibrací ventilátorů výrobní linky pro kamennou vlnu. V úvodu práce je stručně rozepsána technická diagnostika, dále je věnována pozornost problematice vibrací a vzniku vibrací na strojních zařízeních. Hlavní část práce je zaměřena na vibrace, jejich časovým diagramům, způsobu měření. Následující část práce je orientována na metody měření vibrací. Závěrem práce je porovnání dvou způsobů měření ON-LINE, kterou poskytla firma Rockwool, a.s. s OFF-LINE, která byla naměřena. Cílem práce je vyhodnocení vibrací na ventilátorech. Samotné měření bylo provedeno ve firmě Rockwool, a.s.

ANNOTATION BACCALAUREATE WORK

ŠTEFEK, J. *Continuous Measurement of fan Vibration for Hardening Stone Wool Technology*. Ostrava: VŠB – Technical university of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Production Machines and Design, 2014, 48 pages. Leadership of baccalaureate work Ing. Jan Blata, Ph.D.

The theme of baccalaureate work is evaluation fans vibrations for production line of stone wool. At the beginning is concisely described technical diagnostic, where attention is paid to problems vibrations an oscillation of the machinery. The main part of the paper focuses on the vibration, their timing diagrams, method of the measurement. The next part is focused on methods for measuring vibration. Finally, work is to compare two method of measurement ON-LINE methods provided by the company Rockwool, a.s. with OFF-LINE method, which has been measured. The aim is to evaluate the vibration on the fans. The measurement was carried out in the company Rockwool, a.s.

Obsah

Úvod	9
1 Rockwool, a.s.	10
2 Vibrodiagnostika	11
2.1 Základní pojmy a terminologie vibrodiagnostiky	11
2.2 Hlavní příčiny vibrací	12
2.2.1 Nevývaha	13
2.2.2 Nesouosost	14
2.2.3 Ohnutý hřídel	16
2.2.4 Mechanické uvolnění	16
2.3 Způsoby měření vibrací	17
2.3.1 OFF-LINE způsob měření	17
2.3.2 ON-LINE způsob měření	20
2.4 Hodnocení a analýza vibrací	21
2.4.1 Velikost vibrací	21
2.4.2 Změna velikosti vibrací	24
2.4.3 Analýza vibrací	24
3 Měření a vyhodnocení ventilátorů	28
3.1 Popis ventilátorů	28
3.2 Získané údaje od firmy Rockwool, a.s.	30
3.3 Volba měřících míst	34
3.4 Naměřené hodnoty	37
4 Závěr	44
5 Použitá literatura	45
6 Přílohy	48

Seznam použitého označení a zkratek

a	-	Zrychlení	$[m.s^{-2}]$
B_d	-	Průměr valivého elementu	$[m]$
ENV	-	Envelope (obálka zrychlení)	$[gE]$
f	-	Frekvence kmitání	$[Hz]$
I	-	Proud	$[A]$
n	-	Počet valivých elementů	$[-]$
P_d	-	Roztečný průměr	$[m]$
t	-	Čas	$[s]$
U	-	Napětí	$[V]$
v	-	Rychlost	$[m.s^{-1}]$
φ	-	Kontaktní úhel	$[^\circ]$
aj.	-	A jiné	
apod.	-	A podobně	
a.s.	-	Akciová společnost	
BPFI	-	Frekvence závady vnitřního kroužku ložiska	
BPFO	-	Frekvence závady vnějšího kroužku ložiska	
BSF	-	Frekvence závady valivého tělesa ložiska	
cca	-	Cirka	
č.	-	Číslo	
ČSN	-	Česká státní norma	
DIN	-	Německý normalizační úřad	
ISO	-	Mezinárodní organizace pro normalizaci	
Obr.	-	Obrázek	
RMS	-	Efektivní hodnota	
RPM	-	Otáčky za minutu	
Tab.	-	Tabulka	

Úvod

Dnešní ekonomická situace na trhu nutí podniky co nejvíce minimalizovat náklady na výrobu, zvláště při již zakoupených strojích, které vyžadují drahé a nevyhnutelné opravy. Pro prevenci těchto oprav slouží technická diagnostika. Technická diagnostika je soubor preventivních činností, které jsou nejčastěji k vidění u provozně kritických výrobních zařízení. Tyto preventivní činnosti u monitorovaných zařízení si kladou za cíl prodloužit životnost stroje, zvýšit spolehlivost, předvídat poruchy a plánovaně je odstranit, snížit promrhanou energii, snížit náklady na servis i náhradní díly, které se preventivně, někdy i předčasně zbytečně měnily. Nutností je vyhodnotit náklady na měřicí přístroje, které by měly být adekvátní k nákladům na údržbu či pořizovací cenu stroje. Pod pojmem technická diagnostika se skrývají tři hlavní pojmy: preventivnost, prediktivnost a proaktivnost, které se provádí na technickém zařízení s cílem maximalizovat životnost stroje. Z dlouhodobého hlediska lze značně redukovat náklady, které by byly nutné vystavit na náhlou neočekávanou odstávku stroje způsobené poruchou. Jednou z používaných metod bezdemontážní diagnostiky u rotačních strojů je vibrodiagnostika.

Cílem této bakalářské práce je porovnání dvou způsobů měření vibrodiagnostiky. Off-line způsob měření, kterou měříme v Rockwoolu a.s., a která je nezbytná pro určení správné funkce snímačů upevněných nastalo. Druhým způsobem měření je on-line, kterou mi zpřístupnili v podniku Rockwool, a.s.

1 Rockwool, a.s.

Pro tuto kapitolu bylo čerpáno z literatury [7]

Společnost ROCKWOOL byla založena v roce 1909 a patří mezi světového producenta kamenné minerální vlny - dodavatele výrobků, systému a systémových řešení vedoucích ke zvýšení energetické účinnosti, požární odolnosti, zlepšení akustiky stavebních objektů. Provozuje 27 továren ve více než 40 zemích a zaměstnává více než 9 300 pracovníků.

V České republice vzniklo obchodní zastoupení ROCKWOOL, a.s. roku 1993 se sídlem v Bohumíně. Nachází se zde i výrobní závod s jednou výrobní linkou. Výroba kamenné vlny byla zahájena v roce 1998. Nyní společnost zaměstnává kolem 150 pracovníků.

ROCKWOOL produkuje celou řadu výrobků z kamenné vlny, které jsou určeny pro tepelné, akustické a protipožární izolace v obytných budovách, průmyslových objektech, nákupních centrech a technických instalacích. Kamenná minerální vlna disponuje nehořlavostí a tepelnou izolací s nízkým součinitelem tepelné vodivosti. Zvyšuje požární odolnost konstrukcí a zlepšuje jejich akustické parametry.

2 Vibrodiagnostika

Vibrodiagnostika je jednou z hlavních metod technické diagnostiky. Je nezbytnou součástí zajištění ekonomického, ekologického a stálého bezporuchového provozu. Použitím vibrodiagnostiky vede k předejitím poruchám a s tím souvisejícími problémy. Umožňuje nám předvídat problém a včas jej opravit. Výhodou je, že můžeme měřit zařízení bez přerušení provozu.

2.1 Základní pojmy a terminologie vibrodiagnostiky

Pro tuto podkapitulu bylo čerpáno z literatur [1], [2]

Hlavním cílem pro měření vibrací rotujících strojů je poskytnutí informací o provozním a technickém stavu strojního zařízení. Nedílnou součástí se stává hodnocení stavu a průběh vibrací dosavadního provozu.

Je nutné si uvědomit, že vibrace jsou úzce vázány na dynamické namáhání stroje. Souvisí se stavem převodovek, ložisek, nevývahou, nesouosostí, trhlinami na komponentech apod. Jejich monitorováním a určením můžeme předejít předčasnému a nezbytnému odstavení stroje.

DIAGNOSTIKA – činnost prováděna za účelem vyslovení diagnózy a prognózy technického stavu stroje

DIAGNOSTIKOVATELNOST – schopnost stroje být diagnostikován

DIAGNÓZA – zkoumání okamžitého technického stavu. Vyhodnocení provozuschopnosti stroje za daných provozních podmínek. Mezi základní úkoly diagnózy patří:

DETEKCE – odhalení již vzniklé poruchy

LOZALIZACE – určení místa a rozsah vadné části vznikající poruchy

SPECIFIKACE – stanovení konkrétní příčiny poruchy

PREDIKACE – určení času do nevyhnutelné opravy, za účelem nevyhnutelné odstávky stroje

PROGNÓZA – systematicky odvozená výpověď budoucnosti objektu na základě předchozích poznatků. Je podložena mírou spolehlivosti

GENEZE – zkoumání příčin vzniku vady

DIAGNOSTICKÝ SYSTÉM – vyhodnocuje technický stav prostředku. Jedná se o systém tvořen diagnostickými prostředky, mezi které patří soubor technických zařízení, postupů, metod pro vyhodnocení technického stavu, diagnostickým objektem a obsluhou.

Diagnostický systém je buď trvale instalován, jedná se tedy o způsob ON-LINE, nebo lze používat přenosné přístroje, kde se jedná o způsob OFF-LINE. Tyto dvě metody můžeme kombinovat, tzn. používat trvale upevněné snímače a mezitím měřit přístroji přenosnými – periodicky.

DIAGNOSTICKÉ PROSTŘEDKY – soubor technických zařízení, postupů a prostředků pro zanalyzování technického stavu stroje

TECHNICKÝ STAV – stav s odpovídající velikostí a veličinou diagnostické veličiny a množinou daných vlastností, včetně technických parametrů

DIAGNOSTICKÁ VELIČINA – nositel informace o stavu stroje

PROVOZUSCHOPNOST – stav, ve kterém je stroj za daných podmínek schopný vykonávat funkci, ke které byl určen

2.2 Hlavní příčiny vibrací

Pro tuto podkapitulu bylo čerpáno z literatur [2], [3]

Každý spolehlivý výrobce má snahu dodávat jím vyráběné stroje v dobré kvalitě, aby jejich budoucí uživatelé byli s nimi spokojeni a objednali si stroje další. To platí zejména u strojů pracujících při vysokých otáčkách, jako jsou turbosoustroje. Jejich rotory navíc bývají velmi hmotné, takže naakumulovaná kinetická energie by mohla při havárii zničit nejen stroj, ale i halu. Proto mezi hlavními kvalitativními znaky turbosoustrojů patří kromě účinnosti a mírné spotřeby paliva i úroveň kmitání stroje.

Ani úplně nový stroj není bez vibrací. Nelze 100% zabránit chvění stroje. Každý rotující systém v dokonalém stavu má určitou hladinu chvění. Mezi hlavní výrobní příčiny vibrací patří dynamické namáhání, výrobní nepřesnosti, tolerance výroby, vůle mezi součástmi, styk třecích ploch apod., které se při provozu nadále zvětšují. Včasná diagnóza a predikce pro již zmíněné zvětšující se vady je nutností.

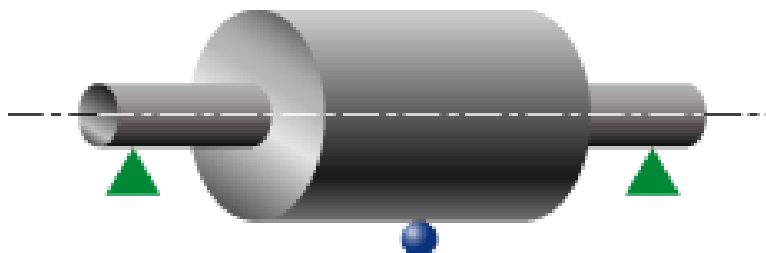
Mezi majoritní problémy detekovaných závad a poruch je možné považovat nevývahu a nesouosost. Dalšími ne méně důležitými faktory jsou mechanické uvolnění, opotřebení strojních dílů, elektrická zavinění, pitting ložisek apod.

2.2.1 Nevývaha

Pro tuto podkapitulu bylo čerpáno z literatury [1]

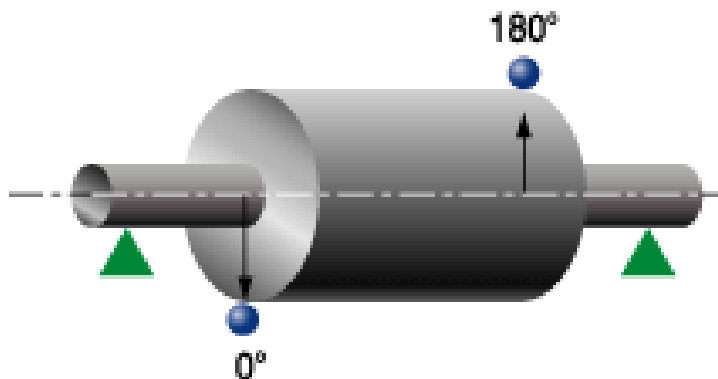
Nevývaha patří k nejobvyklejším zdrojům vibrací technického zařízení. Je-li rotor vyvážen, tak se jeho hmotnostní osa kryje s osou konstrukční. Jakýkoliv jiný případ má za následek nevývahu a tudíž porušení rovnováhy.

- **Statická nevývaha** – nebo-li silová je stacionární. Amplituda, která je důsledkem nevývahy, se zvětšuje kvadrátem ($2\times$ větší otáčky - $4\times$ větší vibrace). Statickou nevývahu lze jednoduše popsat na obr. 3.1, kde je znázorněn těžký bod modrou barvou. Pokud by byl rotor umístěn na podložku s velice malým třením, kolébal by se tak dlouho, dokud by se těžký bod nezastavil svisle dole. Řešením nevývahy může být odebráním těžkého bodu, nebo přidáním protizávaží viz Obr. 3.1.



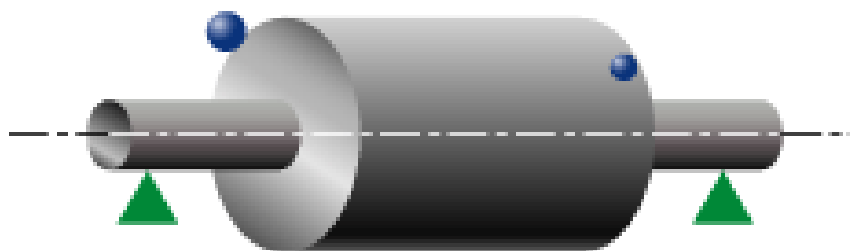
Obr. 3.1 statická nevývaha [10]

- **Momentová nevývaha** – v tomto případě působí dva stejně velké těžké body orientovány o 180° proti sobě. Tyto dva nevývažky od sebe musí být posunuty o vzdálenost, jak je znázorněno na obrázku. Pokud by byly ve stejné rovině orientovány 180° od sebe, jednalo by se pouze o řešení statické nevývahy. Tento druh nevývahy není možné pozorovat v klidovém stavu, neboť nezaujme určitou polohu, jako u statické nevývahy viz obr. 3.2.



Obr. 3.2 momentová nevývaha [11]

- **Dynamická nevývaha** – tato nevývaha je obecná a nejčastěji vyskytována. Je kombinací statické a momentové nevývahy, přičemž jedna z nich může dominovat. Dynamická nevývaha se dá zjistit pouze za pohybu rotoru. Tuto nevývahu musíme odstranit přidáním protizávaží, nebo odebráním nevývažku ve dvou rovinách. Nelze určit pouze jediné místo, kde by byla dynamická rovnováha dokonale odstraněna viz obr. 3.3.



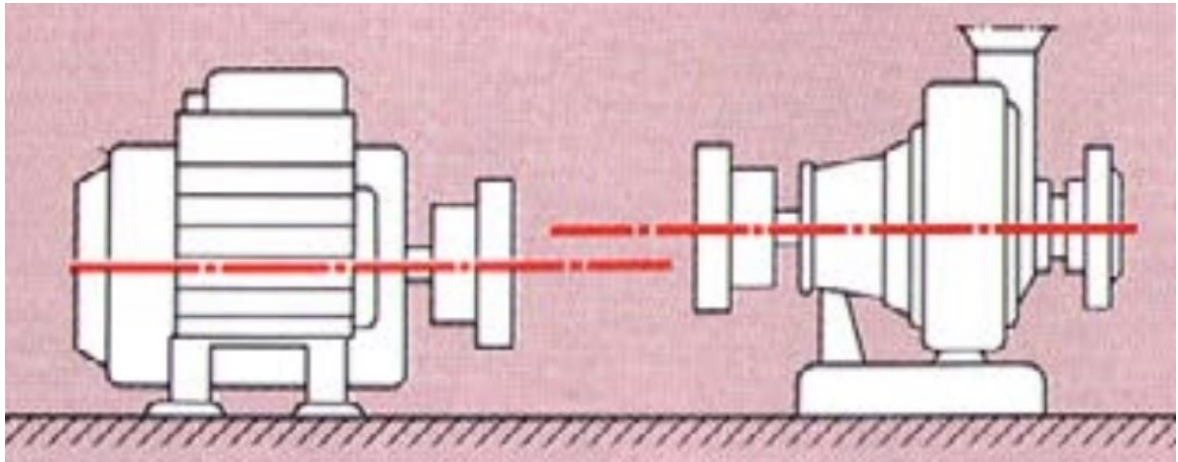
Obr. 3.3 dynamická nevývaha [10]

2.2.2 Nesouosost

Pro tuto podkapitolu bylo čerpáno z literatury [1]

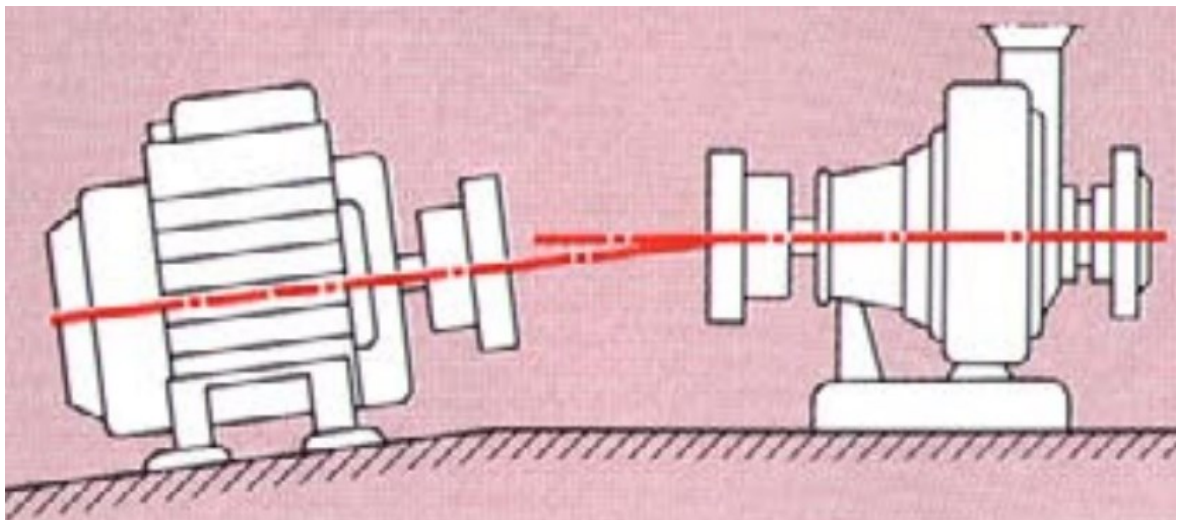
Nesouosost hřídelů způsobuje časté problémy. Každý stroj, který je již nově vybudován, nebo delší dobu v provozu, potřebuje ustavit. Existují dva druhy nesouososti. Úhlová a osová nesouosost. V praxi se vyskytují kombinovaně. Soustrojí je vesměs montováno z pohonné jednoty a pracovního orgánu. Je nutné tyto dva komponenty vůči sobě vyrovnat. Hlavním úkolem osového vyrovnání je nastavit osy hřídelů tak, aby byly vůči sobě v přímce. Špatně ustavené rotory mohou vyvolat namáhání ložisek a rotačních částí až o 20%. Dobře vyrovnané hřídele u kriticky namáhaných strojů jsou z hlediska diagnostiky nezbytné. U takto vyrovnaných hřídelů zvětšíme životnost nejen ložisek, ale i pohonné jednotky a těsnění, což vede k menším ekonomickým výdajům. Vedlejšími ne méně důležitými faktory jsou menší vibrace, hluk a spotřeba. V soustrojí vyrovnáváme vždy pohonnou jednotku vůči stroji. K vyrovnání dojde tak, že nastavíme ustavovací podložky na hnacím agregátu.

- **Osová nesouosost** - jedná se o případ, kdy jsou dva hřídele (rotory) v jedné přímce, jsou od sebe však vychýleny o určitou vzdálenost viz obr. 3.4.



Obr. 3.4 osová nesouosost [12]

- **Úhlová nesouosost** - v takovémto případě jsou osy hřídelů vůči sobě nakloněny. Může to být zapříčiněno např. nerovnou podlahou, nebo nesprávně odlitými nožky na motoru viz obr. 3.5

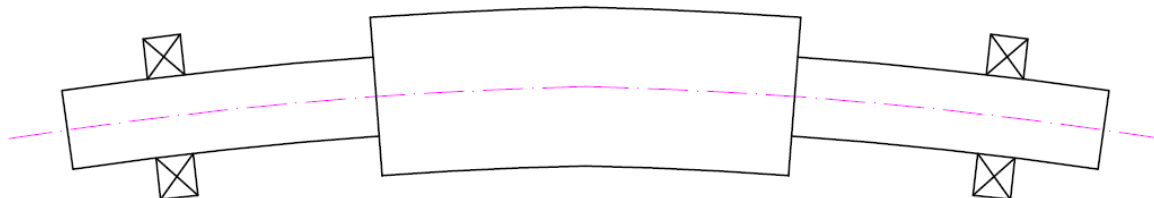


Obr. 3.5 úhlová nesouosost [12]

2.2.3 Ohnutý hřídel

Ohnutý hřídel dělá v praxi velké problémy. Jedná se o problém velice těžko řešitelný s původní součásti. Abychom se ohnutého hřídele zbavili, je nutné jej znova vyrobit či složitě rovnat, což u všech rotujících součástí není možné. Tato operace je velice nákladná. Způsobuje nadměrné vibrace a mechanické namáhání všech strojní dílů podobně jako u nevývahy či nesouososti.

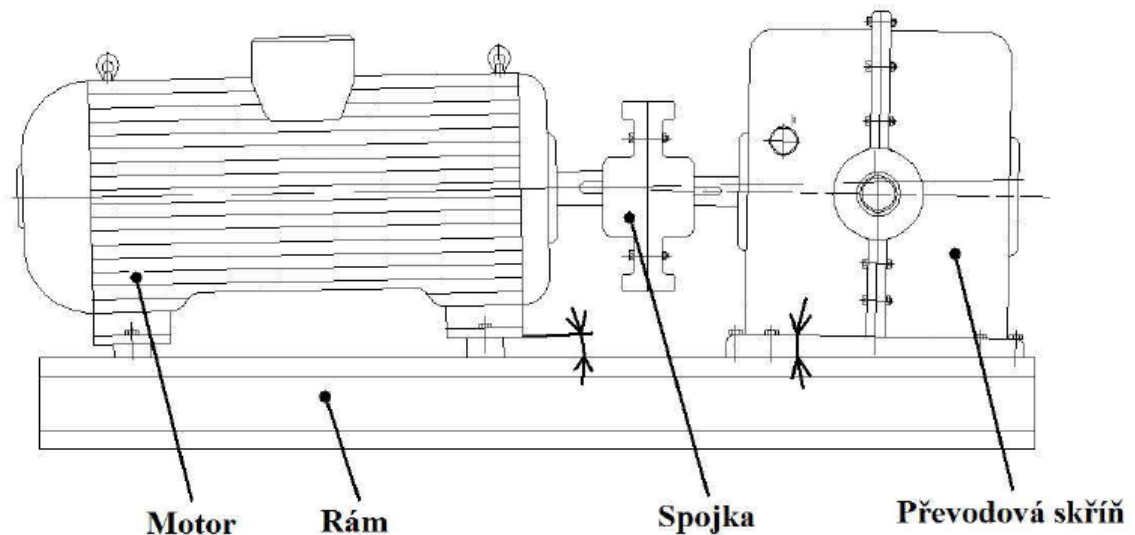
K ohnutí hřídele dochází, jakmile u něj dojde k prudkému rázu (spadne, převrátí se). Další možností je “napasování” mezi hřídele, která je příliš velká pro určenou mezeru. viz obr. 3.6.



Obr. 3.6 ohnutý hřídel

2.2.4 Mechanické uvolnění

Jak již bylo zmíněno, každý rotující stroj, či jeho člen způsobuje vibrace. Nic není dokonale ustavené, vyvážené, souosé. Z tohoto důvodu vznikají vibrace, které časem uvolní kotvící členy soustavy, či jiné součásti stroje. Mechanické uvolnění je zpravidla doprovázené rázy, které zvyšují hlučnost a mechanické namáhání. viz obr. 3.7.



Obr. 3.7 mechanické uvolnění [2]

2.3 Způsoby měření vibrací

Pro tuto podkapitolu bylo čerpáno z literatury [1]

V dnešní době firmy, zabývající se diagnostikou, zahrnují trh různými přístroji. Tyto přístroje měří veškeré známé poruchy v diagnostice. Ať se již jedná o kompletní diagnostiku motorového vozidla nebo právě vibrometry.

Při samotném měření a zkoumání daného objektu, jde o to, aby výstupní signál, který naměříme, co nej přesněji odpovídal reálnému stavu stroje. Výstupem je signál, který si můžeme představit jako časovou funkci reprezentující fyzikální veličiny. Tyto veličiny jsou nositeli nejen informací potřebných, ale i informací, které se snažíme odrušit jako je například šum.

2.3.1 OFF-LINE způsob měření

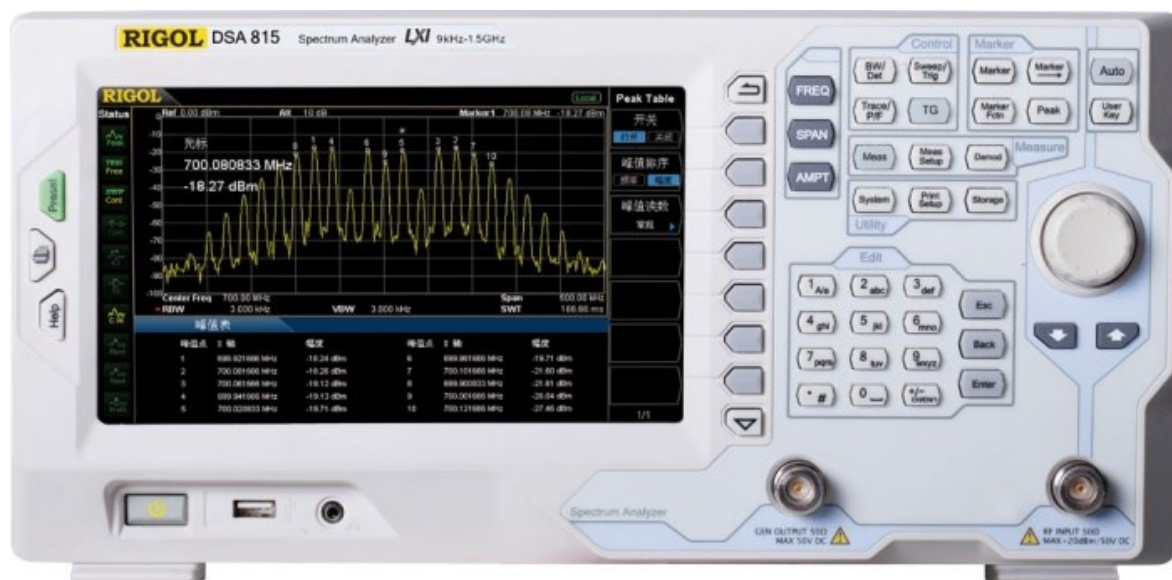
Pro tuto podkapitolu bylo čerpáno z literatur [1], [20]

Off-line metoda je způsob měření, při kterém není měřený objekt soustavně sledován. Měřicí přístroje jsou přenosné. Využívají se pro občasné, či dokonce náhodilé kontrolování stavu stroje. Samotné měření probíhá za provozu (chodu) zařízení. Technik je schopný podat okamžitou základní zprávu o stavu stroje. Dále je na externím pracovišti provedená samotná analýza frekvenčního spektra a přesné určení vadných částí.

Tenhle způsob měření vyžaduje pravidelné obchůzky. Záleží na kritičnosti a vážnosti daného objektu. Tenhle způsob je možné využít pouze jednou, kdy je stroj ve špatném stavu a je nutné jej opravit. Periodita obchůzek je nastavena podle vážností vibrací, kdy při zvětšujících se vibracích dochází k častějším obchůzkám.

Pro tento způsob měření se používají spektrální (frekvenční) analyzátory a vibrometry. Vibrometry slouží pro okamžité stanovení základní diagnózy, slouží k pravidelné údržbě objektu a jejich částí. Rychle rozpoznají osové vychýlení či nevyváženost.

K periodickému off-line měření nevyhnutelně patří graf trendu vibrací. Tento graf nám popisuje vývoj vibrací z minulosti po současnost a následné porovnání. Je závislý na čase. Graf trendu je vytvářen i několik měsíců či dokonce let. Na tomto základě můžeme určit zbývající čas do nevyhnutelné poruchy a odstávky stroje. Tomuto limitu se říká mezní stav. Pro určení mezního stavu používáme normy (ISO, DIN... aj.), matematicko-statistické metody, nebo nám jej předepisuje výrobce.



Obr. 3.8 Spektrální analyzátor DSA 815 [13]

Spektrální analyzátor DSA 815

Frekvenční rozsah: 9kHz – 1,5GHz

8" širokoúhlý displej s rozlišením 800 x 480 px

Rozměry: 362 x 179 x 128 mm

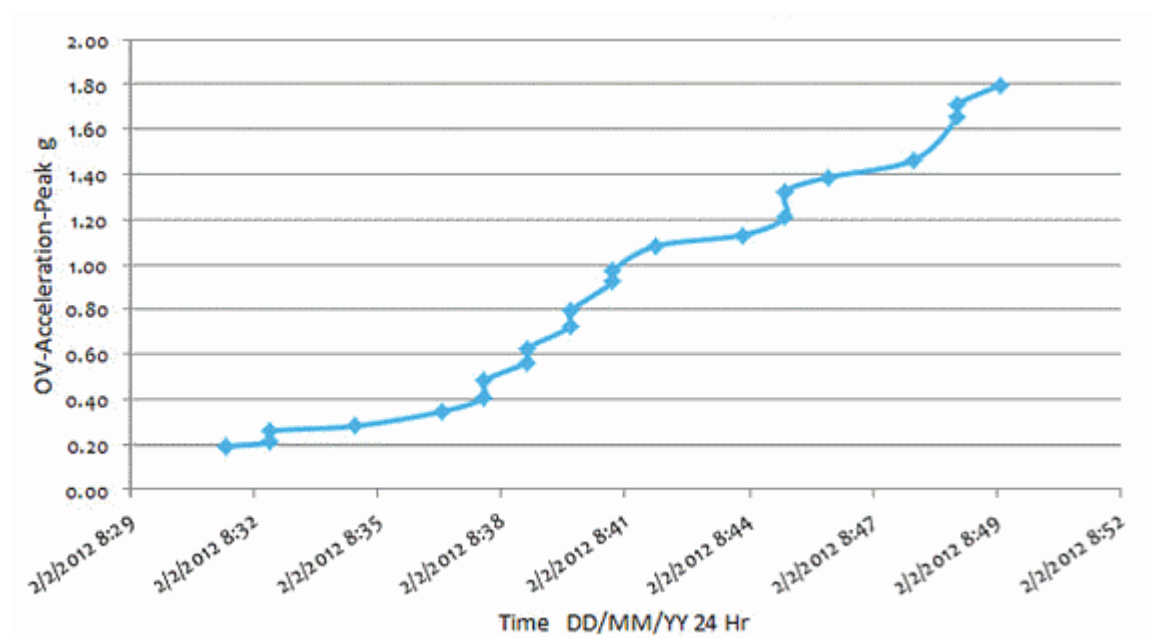
Hmotnost: 4,25 kg



Vibrometr EXTECH VB500

- Čtyřkanálový měřič vibrací se záznamem naměřených hodnot
- Frekvenční rozsah od 10 Hz do 1 kHz
- Měření zrychlení do 200 m/s²
- Měření rychlosti do 200 mm/s
- Měření posunutí do 2 mm
- Měření hodnot RMS a PEAK
- Záznam dat na SD kartu ve formátu Excel
- Automatické vypnutí přístroje při nečinnosti
- Rozměry 203 x 76 x 38 mm
- Hmotnost 515 g

Obr. 3.9 vibrometr EXTECH VB500 [14]



Obr. 3.10 graf trendu vibrací [15]

2.3.2 ON-LINE způsob měření

Pro tuto podkapitolu bylo čerpáno z literatury [17]

Tato metoda spočívá v principu neustálého sledování stavu vibrací stroje. Toto sledování vyžaduje několik přijímačů, které jsou upevněny na objektu natrvalo. Tuto funkci plní počítač, který je umístěn v jednom místě. Na tento počítač jsou napojeny veškeré snímače.

Tato metoda nám dovoluje sledovat stav veškerých strojů popř. soustrojí na výrobní lince. V počítači je zpravidla nainstalován software vyvinut firmou, od které bylo zařízení zakoupeno. Pro přenos informací do systému existuje několik způsobů. Mezi ně patří např.: moduly s paměťovými kartami, přímé napojení. Díky modulům s paměťovou kartou nehrozí při výpadku elektrické energie ztráta dat. Veškerá data jsou ukládány pro vyhodnocení a nahlédnutí. Toto měření není podmíněno neustálým sledováním. Existují však stroje, které vyžadují neustálé sledování stavu např.: elektrárenské turbíny. Je možné sledovat a průběžně vyhodnocovat stav objektu periodicky např. jednou za týden. Pro bezpečnost lze nastavit úroveň maximálních vibrací, pokud je tato mezní hranice překročena, systém automaticky odstaví stroj. Dalšími typy hranic při překročení vibrací jsou například varování a nebezpečí.

Příklad měřicích systémů:

VIROCONTROL 1500

Kontrola vibrací – měří absolutní vibrace, jsou zobrazovány na displeji v podobě číslíkové



či spojnicového grafu. Přístroj má přednastavené funkce „Výstraha“ a „Havárie“.

Kontrola stavu valivých ložisek – stav ložiska je posuzován na základě DTF frekvenční analýzy vibrací v rozsahu 500 – 5000 Hz.

Záznam časových trendů – přímo v přístroji jsou ukládány časové průběhy vibrací. Trendy lze zobrazit ve volitelném časovém rozmezí 10 dnů až 10 měsíců.

Post-mortem výpis – překročení libovolné

Obr. 3.11 VIBROCONTROL 1500 [16]

hranice hodnot „Havárie“ se v přístroji aktivuje záznam podrobného nahrávání v rozmezí 994sec. před a 29sec. po události.

ADASH 3600



Obr. 3.12 Adash 3600 [17]

Měření efektivních (TRUE RMS) nebo špičkových (TRUE PEAK) vibrací.

Měření otáček a teplot

Možnost připojení až 64 vibračních nebo teplotních kanálů

Možnost ukládat data na kompaktní flash kartu

Přehledný display pro zobrazení RMS a PEAK hodnot, teplot a otáček

Možnost definovat 5 různých provozních stavů monitorovaných strojů

Možnost předávat data on-line po síti LAN ke zpracování SW DDS 2000

Indikace poruchy snímače nebo kabelů

2.4 Hodnocení a analýza vibrací

Pro tuto podkapitolu bylo čerpáno z literatury [4]

Pro rozpoznání poruchy provádíme sledování celkových vibrací. Tyto vibrace se nadále posuzují dle norem, např. ČSN ISO 10816 - 3 a hodnotí celkový stav strojního zařízení. Zmíněná evaluace se provádí na základě těchto dvou kritérií:

2.4.1 Velikost vibrací

Pro tuto podkapitolu bylo čerpáno z literatury [4]

Pro posouzení velikostí vibrací norma zavádí pásma a meze hodnocení. Tyto pásma se liší pro jednotlivé kategorie strojů, tak jak je norma definuje, a vycházejí z maximálního přípustného dynamického zatížení ložisek a stroje samotného. Pásmo A je takové, ve kterém by se měly stroje nacházet při začátku provozu – tj. nové stroje. Stroje, jejichž vibrace leží v pásmu B, norma označuje jako stroje, které mohou být provozovány po neomezeně dlouhou dobu. Stroje ležící v pásmu C již nejsou vhodné pro dlouhodobý provoz a vyžadují opravu. Pásmo D potom zahrnuje vibrace strojů vyloženě nebezpečných při provozu.

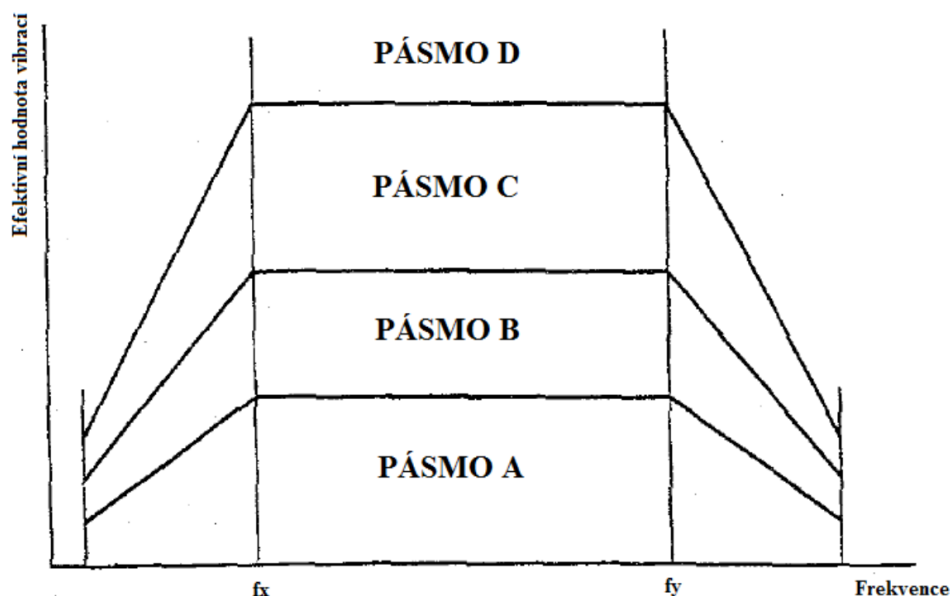
Pásmo A – nové stroje

Pásmo B – stroje, které mohou být bez problému provozovány nadále

Pásmo C – Stroje by neměly být použity pro dlouhodobý provoz. V tomto pásmu by již měla být plánovaná oprava.

Pásmo D – vibrace jsou tak enormní, že mohou poškodit samotný stroj

Viz obr. 3.14



Obr. 3.14 Průběh kritéria velikosti vibrací [4]

Tyto meze jsou stanoveny tak, aby dané pásmo vibrací, ve kterém se strojní zařízení nachází, odpovídalo skutečnému stavu bez ohledu na typ a druh použitého ložiska. Ke správnému přiřazení daného pásma je využívána efektivní hodnota vibrací, což ve většině případů je dostačující. Avšak pro pomaloběžné stroje může vést samotné měření rychlostí ke značným výchylkám. Naopak pro rychloběžné stroje může vést až k přehnané velikosti zrychlení. Na základě těchto dvou nesrovnalostí norma vytyčuje frekvenční rozsah, ve kterém je nutno měřit konstantní rychlost, mimo tento frekvenční rozsah je přípustná rychlost vibrací funkcí frekvence. U drtivé většiny strojů mají vibrace jedinou frekvenční složku stanovenou otáčkami.

- **Pásma vibrací pro jednotlivé skupiny strojů (Tab. 5.1)**

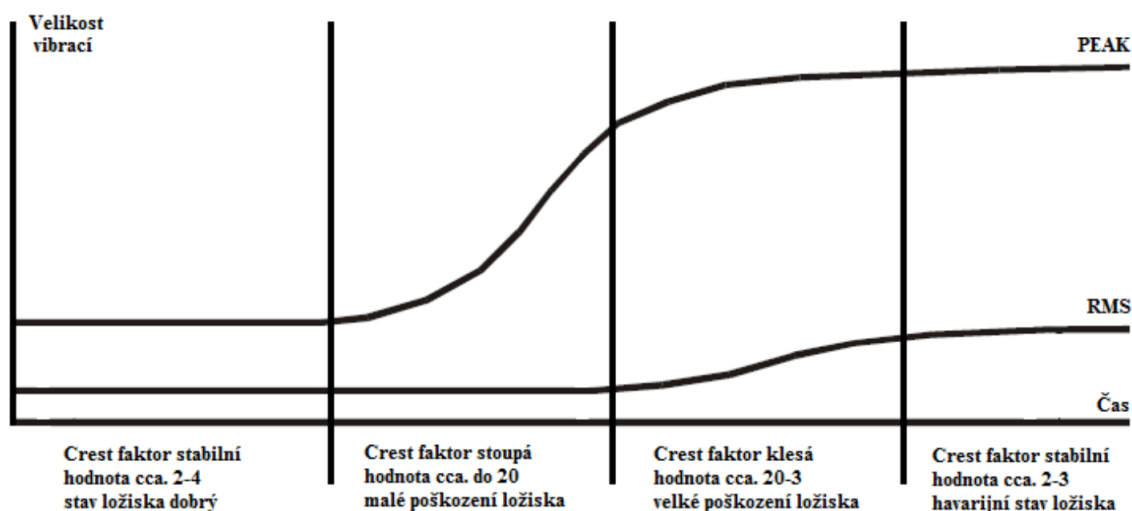
Třída I – typicky elektrické motory s výkonem maximálně 15kW

Třída II – elektrické motory s výkonem 15 až 75 kW a motory a stroje s výkonem do 300kW připevněné na speciálních základech

Třída III – velké pohonné jednotky s rotačními částmi, připevněné na pevných a těžkých základech, které jsou ve směru měření vibrací tuhé

Třída IV – velké pohonné jednotky s rotačními částmi, připevněné na pevných a těžkých základech, které jsou ve směru měření měkké (jako příklad se uvádí plynové turbíny a generátory s výkonem větším než 10MW)

Tyto pásma jsou znázorněny na obr. 3.15



Obr. 3.15 Průběh hodnot RMS/PEAK [4]

Tab. 3.1 Pásma vibrací pro jednotlivé skupiny strojů

ČSN ISO 10816-3

Tabulka A.2 – Klasifikace pásem mohutnosti vibrací pro stroje skupiny 2: Stroje o střední velikosti se jmenovitým výkonem větším než 15 kW a menším nebo rovným 300 kW včetně; elektrické stroje s výškou osy hřídele $160 \text{ mm} \leq H < 315 \text{ mm}$

Klasifikace uložení	Hranice pásma	Efektivní hodnota výchylky μm	Efektivní hodnota rychlosti mm/s
Tuhé	A/B	22	1,4
	B/C	45	2,8
	C/D	71	4,5
Pružné	A/B	37	2,3
	B/C	71	4,5
	C/D	113	7,1

2.4.2 Změna velikosti vibrací

Aby bylo možné toto kritérium vůbec hodnotit, je třeba nastavit referenční hodnoty co nejpřesněji odpovídající ustáleným podmínkám správně fungujícího stroje. Hlavním pozorovaným subjektem je změna vibrací. Změny vibrací se projevují nárazově nebo postupně.

Pro hodnocení stroje dle II kritéria je nutné dlouhodobého sledování. Tento postup se skládá ze dvou podfází:

- Monitorování – trvalé sledování stroje slouží pro zachycení momentu vyskytnutí závady (detekce)
- Analýza – určuje příčinu změny vibrací – odhalení defektu

Pro trvalé sledování stroje se využívají trendy. Trendy, jak již bylo zmíněno, ukládají naměřené veličiny v čase. Pro naše účely používáme tyto čtyři trendy:

A – trvale dobrý stav bez závady	v tab. 4.1 ÷ 4.3 znázorněno ZELENOU
B – náhlá změna (zvýšení, snížení vibrací)	v tab. 4.1 ÷ 4.3 znázorněno ZELENOU
C – postupné poškozování	v tab. 4.1 ÷ 4.3 znázorněno ŽLUTOU
D – nesmyslný trend	v tab. 4.1 ÷ 4.3 znázorněno ČERVENOU

2.4.3 Analýza vibrací

Pro tuto podkapitolu bylo čerpáno z literatur [1], [4], [5]

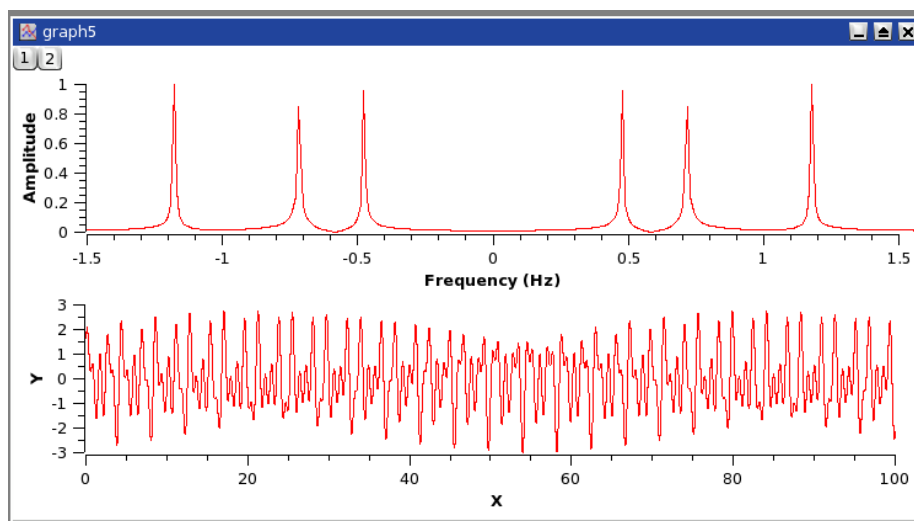
Pokud byla při hodnocení celkových vibrací detekována závada, je doporučeno provést frekvenční analýzu. Pomocí Fourierovi transformace se frekvenční analýza rozloží na jednotlivé frekvenční složky. Pro správnou analýzu frekvenčního spektra je nutné zajistit technické informace o stroji, kde patří: typ ložisek, výkon, otáčky, počet lopatek aj.

U samotného měření se zjistí otáčky rotoru. Jako výchozí hodnota se určí otáčková frekvence. Nadále se podle konstrukce stroje a s pomocí její násobků a její amplitudy lokalizuje místo závady.

- **FFT (Fast Fourier Transformation)**

Jedná se o časové vyjádření signálu. Slouží pro převod signálu z časové oblasti do frekvenční. Tyto frekvenční oblasti je možné vnímat jako rozložený graf do podgrafů. U FFT je využíváno dvou druhů souřadnicového systému: časový průběh (amplituda – osa Y, čas – osa X) a frekvenční spektrum (amplituda – osa Y, frekvence – osa X). [1] Energie nesená časovým průběhem vibrace musí být totožná s energií, která je obsažena ve spektru vibrací.

Fourierova řada je tvořena harmonickými signály, což jsou rozložené periodické funkce se spojitým časem na kombinaci harmonických signálů. Fourierova a frekvenční analýza poskytuje celkové shrnutí informací o daném stroji. Spektrum FFT je užitečné zejména svou rychlostí, přesností a jednoduchým nastavením vstupních údajů. Umožňuje stanovit maximum informací ze signálu. Výsledek FFT lze uložit jako obrázek spektra, nebo textový dokument s daty. Příklad FFT je znázorněn na obr. 3.16



Obr. 3.16 Fast Fourier Transformation [18]

- **Obálková analýza (ENVELOPE)**

Tato analýza se ve většině případů používá k diagnostice valivých ložisek a ozubených kol. Díky této metodě můžeme sledovat opakující se charakterystiky záběru kol či rotujících elementů ložisek. Tyto elementy nebo ozubená kola vytváří vibrační signály s mnohem nižší amplitudou a vyššími frekvencemi, než je tomu v případech, kde jsou vibrace buzeny např. otáčkami. Pokud by se objevila vada na vnitřní straně ložiska, každá kulička, která by procházela tímto místem, by vyvolala malý opakující se signál s frekvencí, která odpovídá dané závadě ložiska. Tyto signály mají tak malou energii, že se ztratí v celkovém měřeném spektru v šumu či jiných frekvencích buzenými otáčkami. Příklad obálkové analýzy je znázorněn na obr. 3.17

Zásadní vztahy pro určení Obálkové metody:

Poškození vnitřního kroužku:

$$1. \quad BPFO = \frac{n}{2} \cdot \frac{RPM}{60} \cdot \left(1 + \frac{B_d}{P_d} \cdot \cos\varphi\right)$$

Poškození vnějšího kroužku:

$$2. \quad BPF I = \frac{n}{2} \cdot \frac{RPM}{60} \cdot \left(1 - \frac{B_d}{P_d} \cdot \cos\varphi\right)$$

Poškození klece:

$$3. \quad FTF = \frac{1}{2} \cdot \frac{RPM}{60} \cdot \left(1 - \frac{B_d}{P_d} \cdot \cos\varphi\right)$$

Poškození valivých elementů:

$$4. \quad BSF = \frac{P_d}{2 \cdot B_d} \cdot \frac{RPM}{60} \cdot \left(1 - \left(\frac{B_d}{P_d}\right)^2 \cdot \cos^2\varphi\right)$$

Kde:

P_d – roztečná průměr [m]

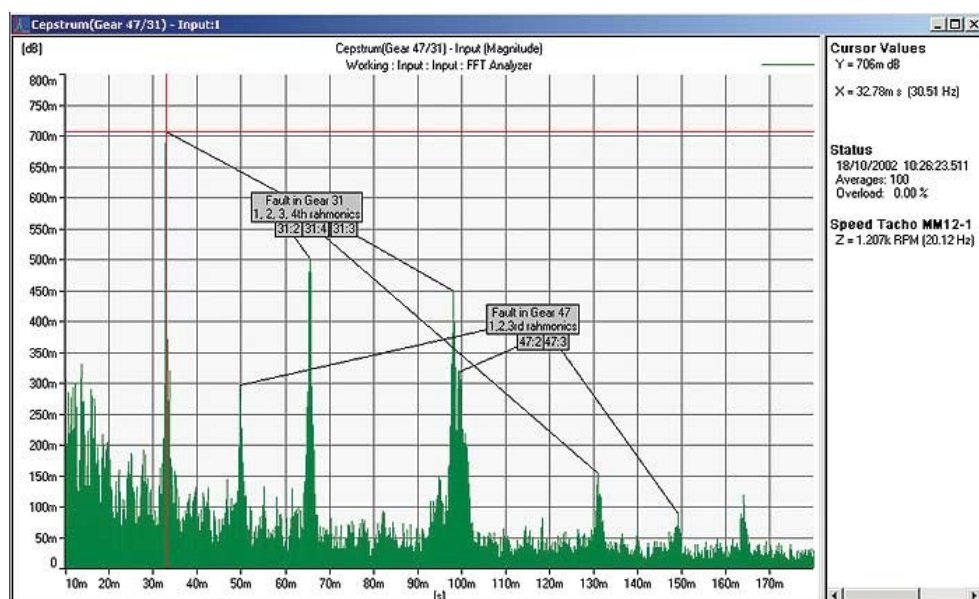
B_d – Průměr valivého elementu [m]

RPM – otáčky hřídele [min^{-1}]

n – počet valivých elementů [-]

φ - kontaktní úhel [$^\circ$]

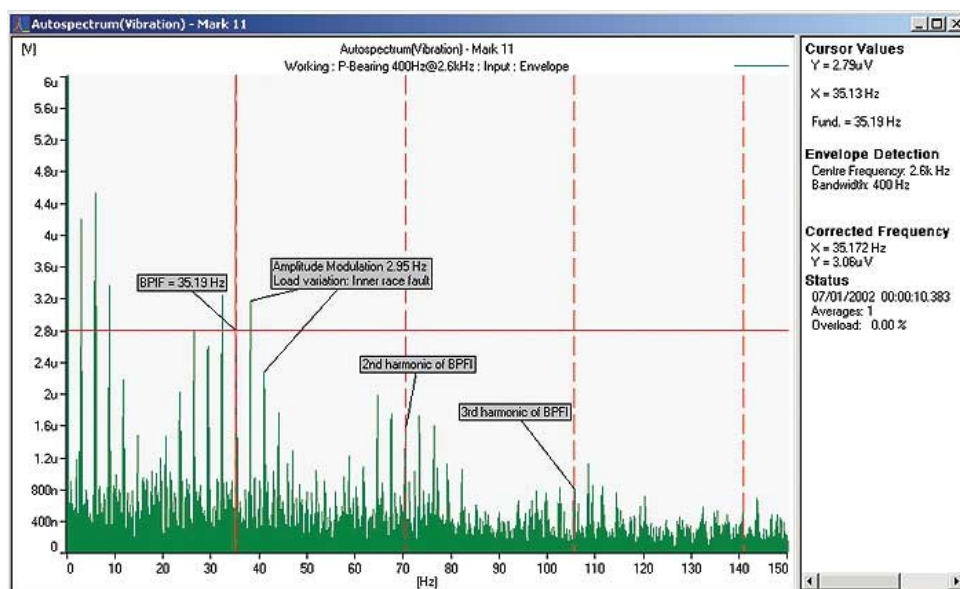
Výpočetní vztahy [1 – 4] jsou převzaty z literatury [1]



Obr. 3.17 Příklad obálkové analýzy [19]

- **Kepstrální analýza**

Tato metoda vyhledává opakující se děje ve frekvenčním spektru. Tyto čáry mohou být namodelovány na čáry hlavní. Kepstrální analýza hledá děje opakující se mezi čarami obsaženými ve frekvenčním spektru. Metoda může být považována jako frekvenční analýza frekvenčního spektra. Je nástrojem pro orientaci ve spektru. Metoda je hojně využívána, podobně jako obálková metoda pro diagnostiku ozubených kol a ložisek. Příklad kepstrální analýzy je znázorněn na obr. 3.18



Obr. 3.18 Příklad kepstrální analýzy [19]

3 Měření a vyhodnocení ventilátorů

Tato kapitola je zaměřená na seznámení s vlastním měřením ventilátorů, stručný popis zařízení a vyhodnocení samotného měření. Budu se hlavně věnovat samotnému vyhodnocení signálů. Cílem je diagnostikovat různé nežádoucí děje na strojním zařízení. Pozornost je věnována i přípravě měření na samotném pracovišti. Měření bylo provedeno ve společnosti Rockwool, a.s.

3.1 Popis ventilátorů

Firma Rockwool, a.s. používá pro výrobu kamenné vlny výrobní linku. Tato linka musí být chlazená, předehřívána a udržovaná pokud možno v konstantní teplotě. Na výrobní lince je 23 ventilátorů, které tyto požadavky plní. Má práce je zaměřená pouze na tři tyto ventilátory. Jedná se o ventilátor č. 15, ventilátor č. 16 a ventilátor č. 19.

Ventilátor č. 15 – Obr. 3.1 tento ventilátor vysušuje (vytvrzuje) kamennou vlnu ve vytvrzovací komoře. Teplota by se měla pohybovat v rozmezí $270^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$.

Ventilátor č. 16 – Obr. 3.2 hlavním úkolem tohoto ventilátoru je předehřívát vratnou stranu pásu vytvrzovací komory. Předehřev je nutný, aby nedošlo při kontaktu s vlnou k tepelnému šoku a prasknutí pásu. Teplota při kontaktu pásu s vlnou by se měla pohybovat v rozmezí $360^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$.

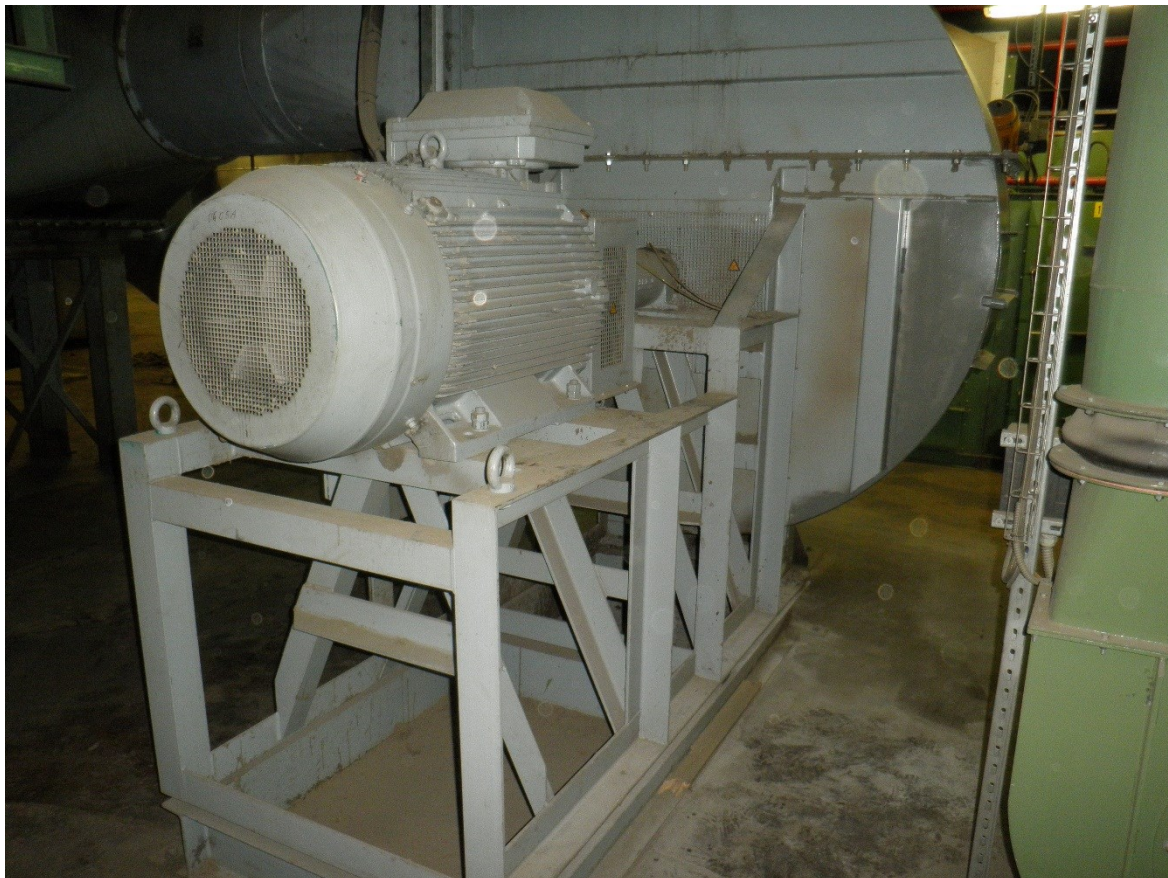
Ventilátor č. 19 – Obr. 3.3 tento ventilátor má za úkol zchladit kamennou vlnu, aby se mohla zabalit a přepravit ke spotřebiteli. Je to finální fáze výrobní linky. Kamenná vlna vystupuje po krocích vrstvení, zhutnění, vytvrzení na konec linky, kde je nařezána. Musí být zchlazena, aby nedošlo k seškvaření obalu. Teplota před zchlazením činí cca 170°C (závisí to i na druhu kamenné vlny). Výstupní teplota musí být schlazená na 40°C .



Obr. 4.1 Ventilátor č.15



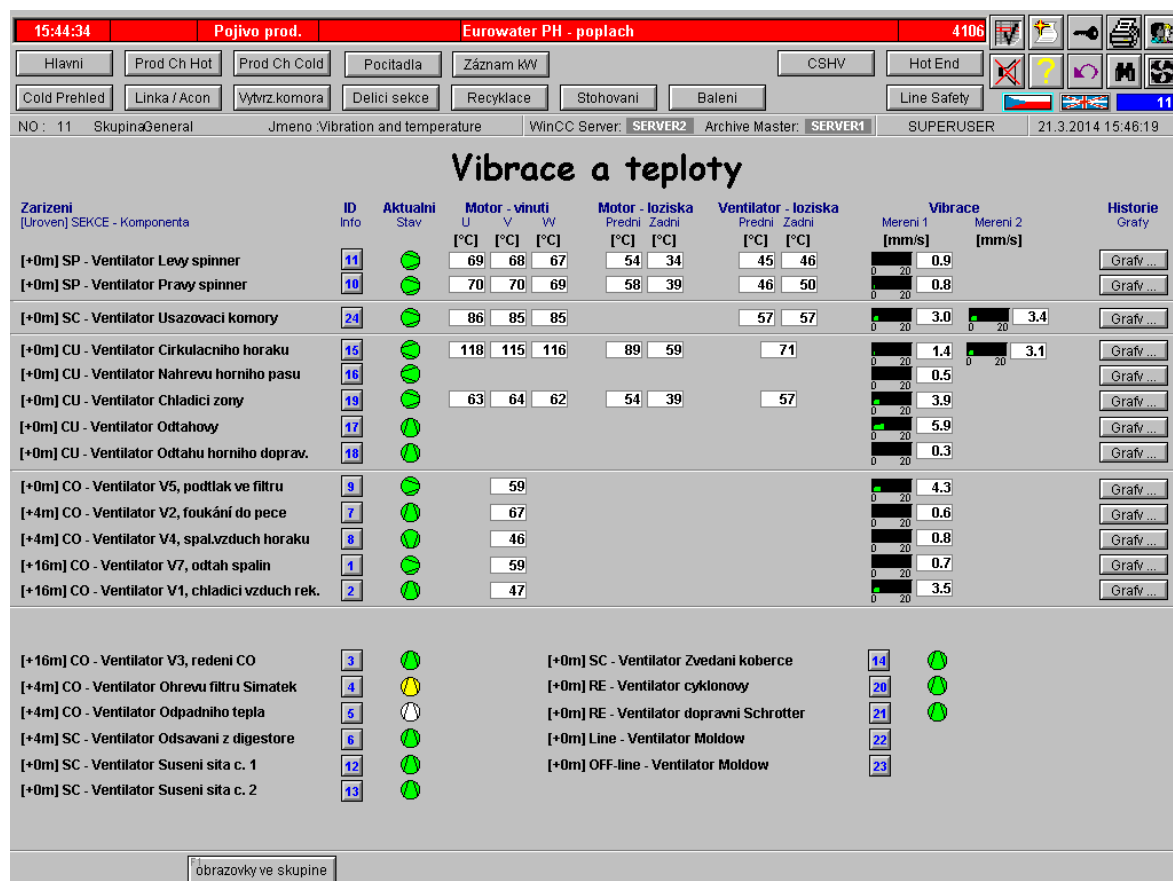
Obr. 4.2 Ventilátor č.16



Obr. 4.3 Ventilátor č. 19

3.2 Získané údaje od firmy Rockwool, a.s.

Cílem této práce je porovnání dvou způsobů měření vibrací. Získal jsem časový záznam, který je ze dne 21.3.2014. Více informací mi nebylo poskytnuto, protože se jedná o interní záležitost firmy. Údaje jsou zobrazeny na obrázcích 4.4, 4.6, 4.7, 4.8.

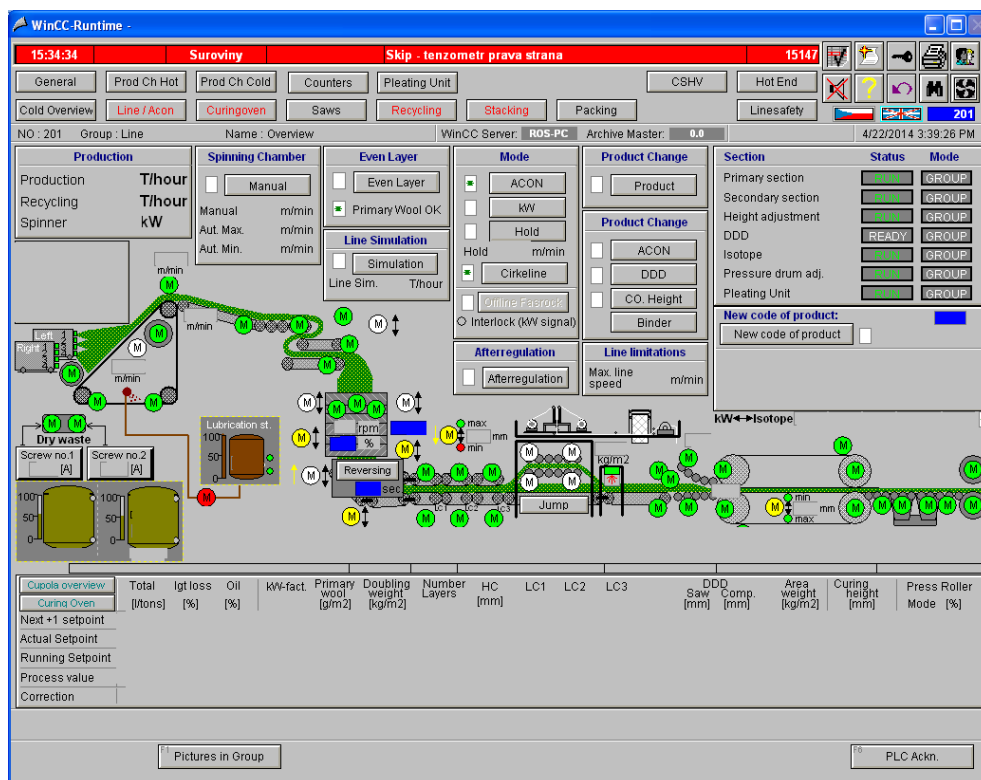


Obr. 4.4 Celkový pohled linky na vibrace a teploty

Na obrázku lze spatřit celkový přehled teplot a vibrační výrobní linky. U ventilátor č. 16 však nelze shlédnout teplotu, jelikož senzor snímá pouze vibrace. U ventilátoru č. 15 se teplota vinutí pohybuje mezi $115 \div 118$ °C. Teplota předního ložiska v motoru činí 89°C a zadního 59°C. Teplota na ložisku ventilátoru dosahuje 71°C. Ventilátor č. 19 dosahuje lepších teplotních výsledků. Teplota vinutí se pohybuje v rozmezí $62 \div 64$ °C. Teplota předního ložiska činí 54°C a zadního ložiska 39°C. Teplota ložiska ventilátoru je 57°C.

Na obrázku 4.5 je vidět schéma výrobní linky. Na tomto obrázku jsou vymazány veškeré hodnoty z důvodu ochrany údajů firmy Rockwool, a.s.

Zvýšení vibrací, které je zřejmé na časových záznamech, je způsobeno několika důvody. Jeden z možných důvodů, který způsobil zvýšení vibrací (obr. 4.7), je usazení pojiva na lopatkách ventilátorů. Tento problém se řeší vstříknutím vody u osy ventilátoru, která odstředivou silou odstraní pojivo z lopatek. Nevýhodou je neúplné odstranění pojiva na lopatce. Toto pojivo má za následek zvýšenou nevývahu. Dalším možným důvodem, který měl za následek zvýšení vibrací, je ucpání přívodu vzduchu vlnou. Díky tomu vzniknou neideální podmínky pro daný ventilátor, který se následně rozechvěje.

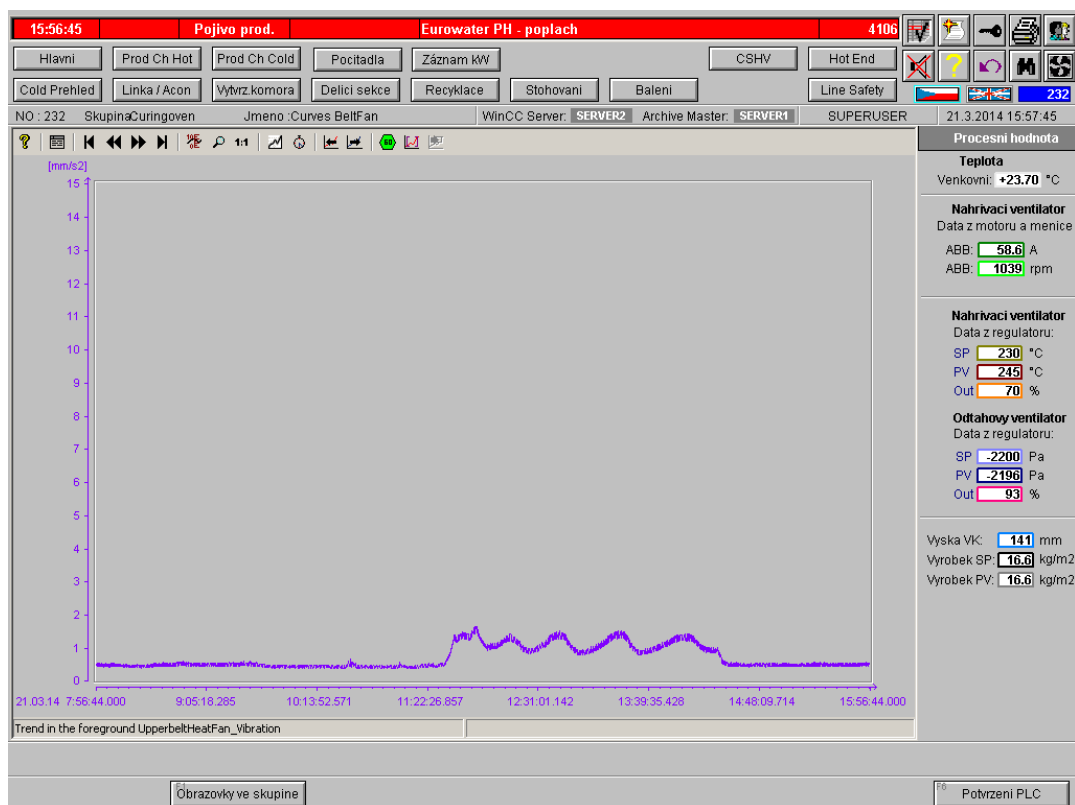


Obr. 4.5 Schéma výrobní linky

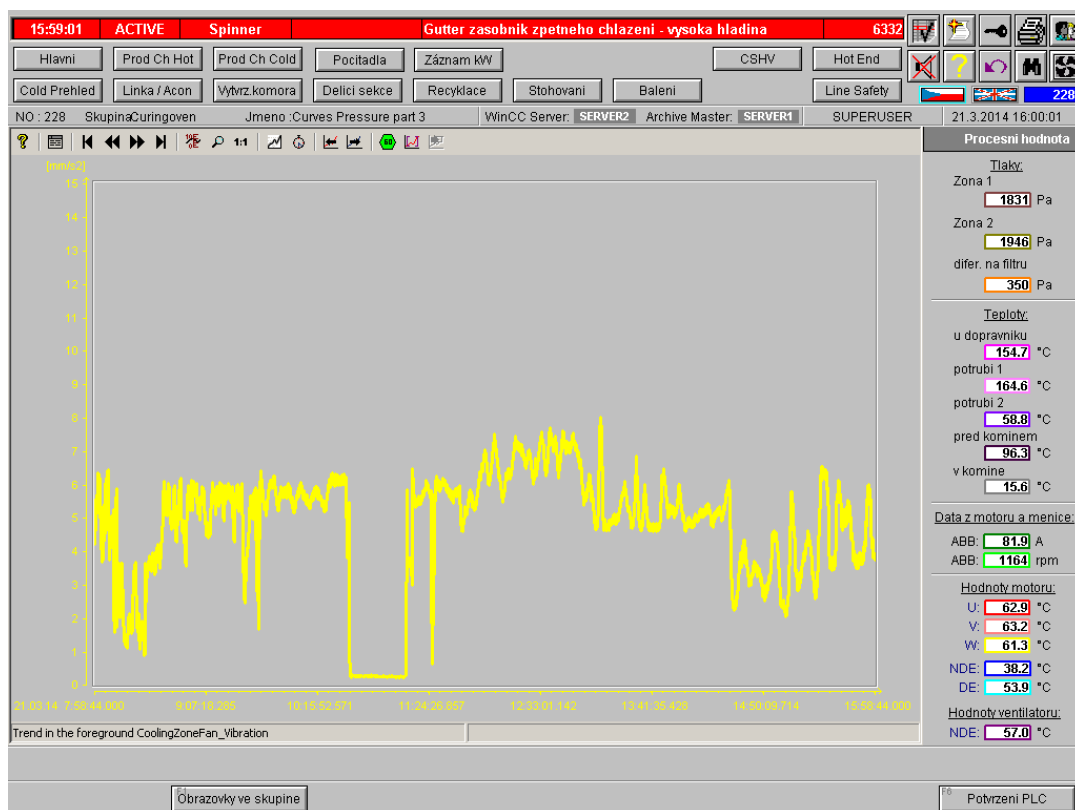


Obr. 4.6 Hodnoty ventilátoru č. 15

Červenou, žlutou a růžovou barvou jsou zaznamenány hodnoty teploty vinutí motoru. Tyrkysová barva značí teplotu předního ložiska motoru. Dále pak modrá barva znázorňuje teplotu zadního ložiska motoru. Zelená a hnědá barva značí hodnoty rychlosti vibrací. Zelená je naměřena na vertikálu v měřicím místě L4, modrá pak na vertikálu v měřicím místě L3. Měřící místa jsou popsány na obr. 4.9.



Obr. 4.7 Hodnoty ventilátoru č. 16



Obr. 4.8 Hodnoty ventilátoru č. 19

Na obr. 4.7, 4.8 jsou zaznamenány pouze vibrace snímače online. V obou případech byl snímač umístěn ve vertikální poloze v měřicím místě L3. Měřící místa jsou popsány na obr. 4.9.

3.3 Volba měřících míst

Měřící místa by měla být volena tak, aby bylo při opakovaném měření možné umístit senzory na stejné místo. Většina strojních zařízení, obzvláště motory, mají předem stanovené měřící body. Umístění snímačů se doporučuje provádět dle normy ČSN ISO 13371 – 1.

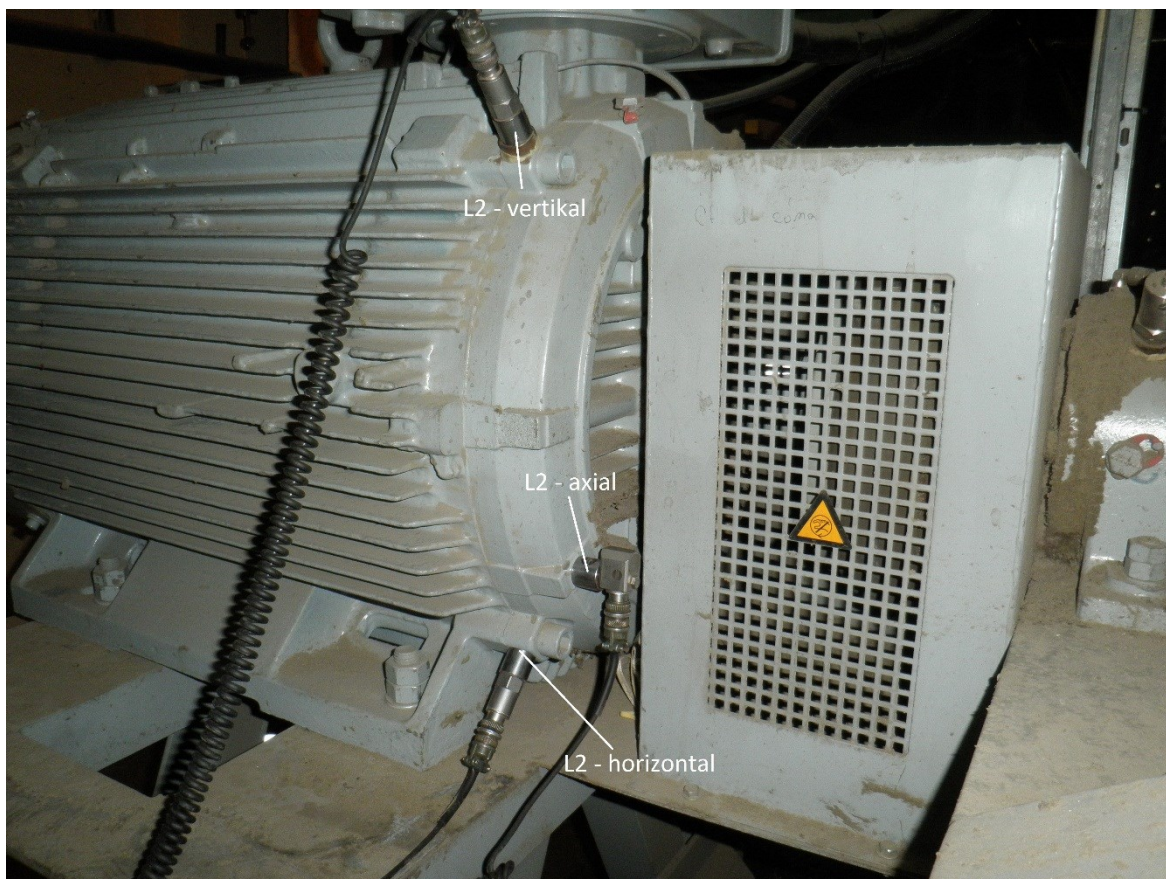
Veškerá měření byla prováděna za provozních podmínek. Měřící body by měly být umístěny v horizontálním, vertikálním a axiálním směru. V mém případě tomu tak vždy nebylo. Měřící body byly pootočený, avšak úhel mezi body tvořil stále 90°. Volba měřených míst je znázorněna na obrázcích 4.9, 4.10, 4.11, 4.12, 4.13. Měřící místa byly vybírány na veškerých ventilátorech totožně.



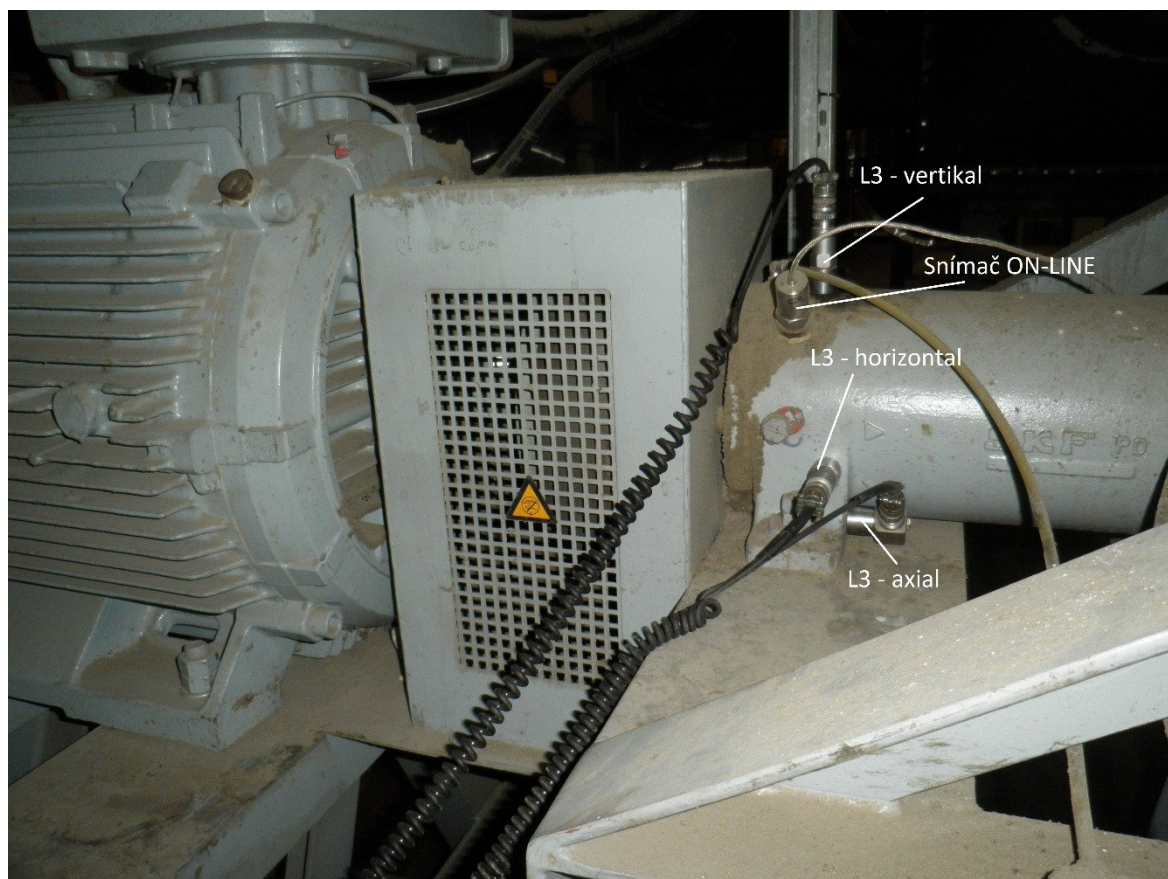
Obr. 4.9 Schéma rozložení měřících míst



Obr. 4.10 Rozložení měřících bodů v měřícím místě L1



Obr.4.11 Rozložení měřících bodů v měřícím místě L2



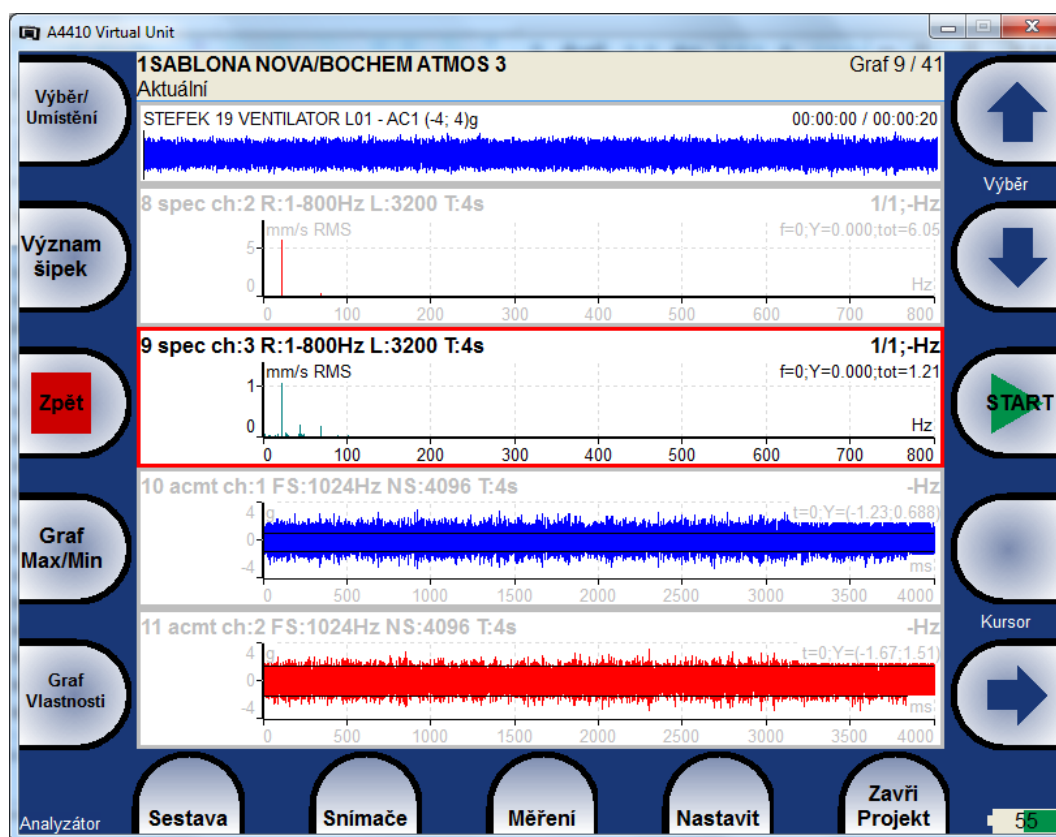
Obr. 4.12 Rozložení měřících bodů v měřícím místě L3



Obr. 4.13 Rozložení měřících bodů v měřícím místě L4

3.4 Naměřené hodnoty

Hodnoty jsou naměřeny přístrojem Adash A 4400 VA 4 PRO. Měření každého měřicího místa trvalo 20s. Na obr. 4.14 je znázorněn software společnosti Adash, ve kterém jsem vyhodnocoval naměřené údaje. Dále v tabulce 4.1, 4.2, 4.3 jsou zaznamenány hodnoty pro jednotlivá měřící místa ventilátorů.



Obr. 4.14 Vyhodnocovací software Adash A4410 Virtual unit



Ventilátor č.15

Motor: AVV M3B3 355 LKB4 IMB3

Výkon: 560 kW

Otáčky: 1490 min⁻¹

Proud: 572A, Napětí: 690V

Měnič: ABB ACS 800-07-750-7

Ventilátor: RGHN 2000-11 20D/K

Průtok: 122 400 m³/h

Obr. 4.15 ventilátor č.15

Tab. 4.1 Výsledky měření pro ventilátor č.15

Tabulka efektivních hodnot rychlostí v pásmu 10 - 1000Hz (v_{RMS}) a efektivních hodnot zrychlení v pásmu 500 - 25600Hz (a_{RMS})											
Měřící místo		L1	L2	L3	L4	Měřící místo		L1	L2	L3	L4
Veličina	Směr					Veličina	Směr				
v_{RMS} [mm/s]	V	2,5	1,44	1,84	3,02	a_{RMS} [mm/s ²]	V	0,65	0,87	0,76	1,01
	H	1,23	1,93	1,2	1,82		H	0,98	0,92	0,84	0,88
	A	1,03	1,29	1,26	1,19		A	0,68	0,77	0,59	0,47



Ventilátor č.16

Motor: ABB M3BP 280 SMA4 B3

Výkon: 75 kW

Otáčky: 1484 min⁻¹

Proud: 135A, Napětí: 400V

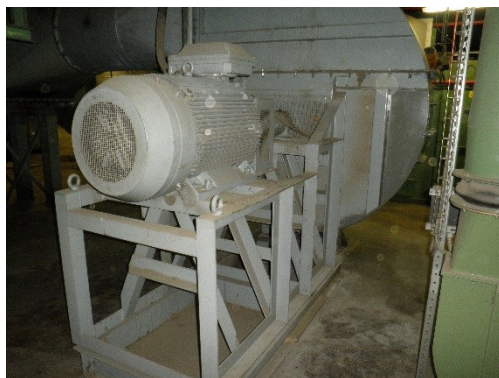
Měnič: ABB ACS 800-01-0100-3

Ventilátor: RGHN 1250-900

Obr. 4.15 ventilátor č.16

Tab. 4.2 Výsledky měření pro ventilátor č.16

Tabulka efektivních hodnot rychlostí v pásmu 10 - 1000Hz (v_{RMS}) a efektivních hodnot zrychlení v pásmu 500 - 25600Hz (a_{RMS})											
Měřící místo		L1	L2	L3	L4	Měřící místo		L1	L2	L3	L4
Veličina	Směr					Veličina	Směr				
v_{RMS} [mm/s]	V	0,869	0,876	0,782	1,1	a_{RMS} [mm/s ²]	V	0,59	1,06	0,26	0,25
	H	0,489	0,749	0,889	1,06		H	0,39	1,25	0,18	0,26
	A	0,543	0,542	0,552	0,47		A	1,1	0,52	0,10	0,18



Obr. 4.17 Ventilátor č.19

Ventilátor č.19

Motor: ABB M3BP 315 MLA4 B3

Výkon: 200 kW

Otáčky: 1486 min⁻¹

Proud: 203A, Napětí: 690V

Měnič: ABB ACS 800-07-0260-7

Ventilátor: RGHN 1400-750D/K

Průtok: 50 900 m³/h

Tab. 4.3 Výsledky měření pro ventilátor č.19

Tabulka efektivních hodnot rychlostí v pásmu 10 - 1000Hz (v_{RMS}) a efektivních hodnot zrychlení v pásmu 500 - 25600Hz (a_{RMS})											
Měřicí místo		L1	L2	L3	L4	Měřicí místo		L1	L2	L3	L4
Veličina	Směr					Veličina	Směr				
v_{RMS} [mm/s]	V	7,74	5,74	5,51	5,41	a_{RMS} [mm/s ²]	V	0,73	0,98	0,25	0,21
	H	6,04	5,32	2,56	2,96		H	0,73	0,92	0,22	0,17
	A	1,2	1,2	1,27	1,44		A	0,78	0,73	0,18	0,13

Popis tabulek 4.1, 4.2, 4.3

 v_{RMS} – Efektivní hodnota rychlosti vibrací v pásmu 10 – 1 000 Hz [mm/s] a_{RMS} – Efektivní hodnota zrychlení vibrací v pásmu 500 – 25 600 Hz [mm/s²]

Barevné označení je popsáno v normě ČSN ISO 10816 - 3 na str. 22

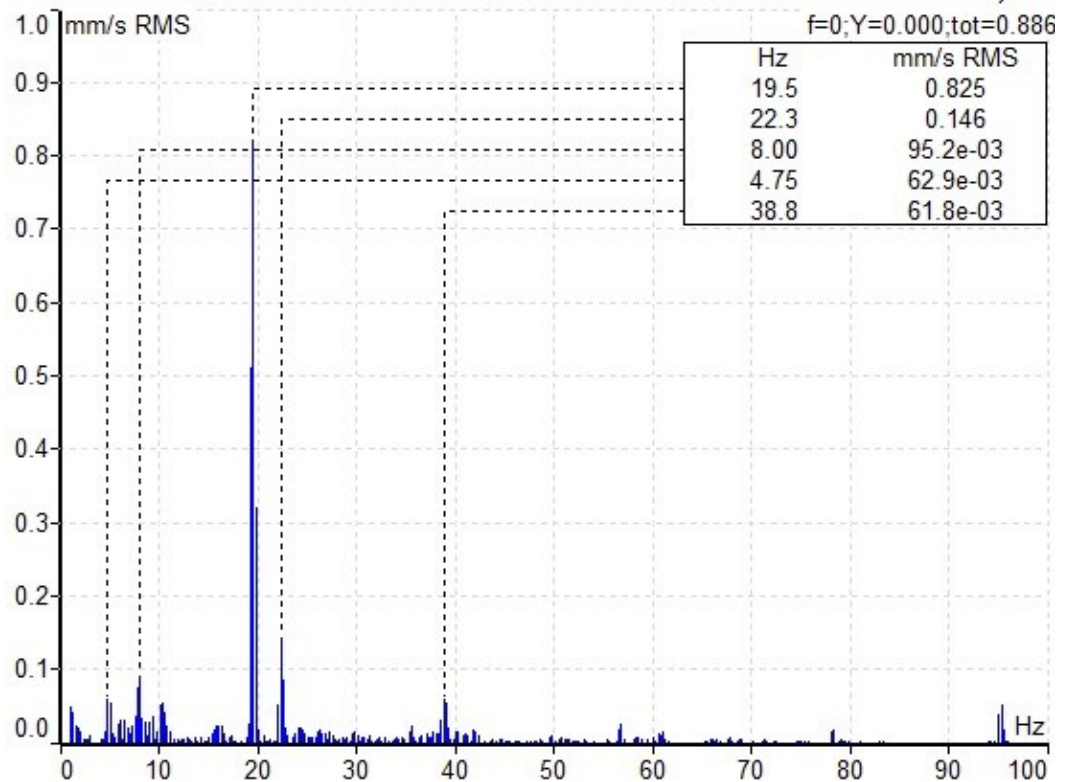
Dle ČSN ISO 10816 motory zařazeny do následujících Tříd:

Ventilátor č.15 – **Třída II**Ventilátor č.16 – **Třída II**Ventilátor č.19 – **Třída II**

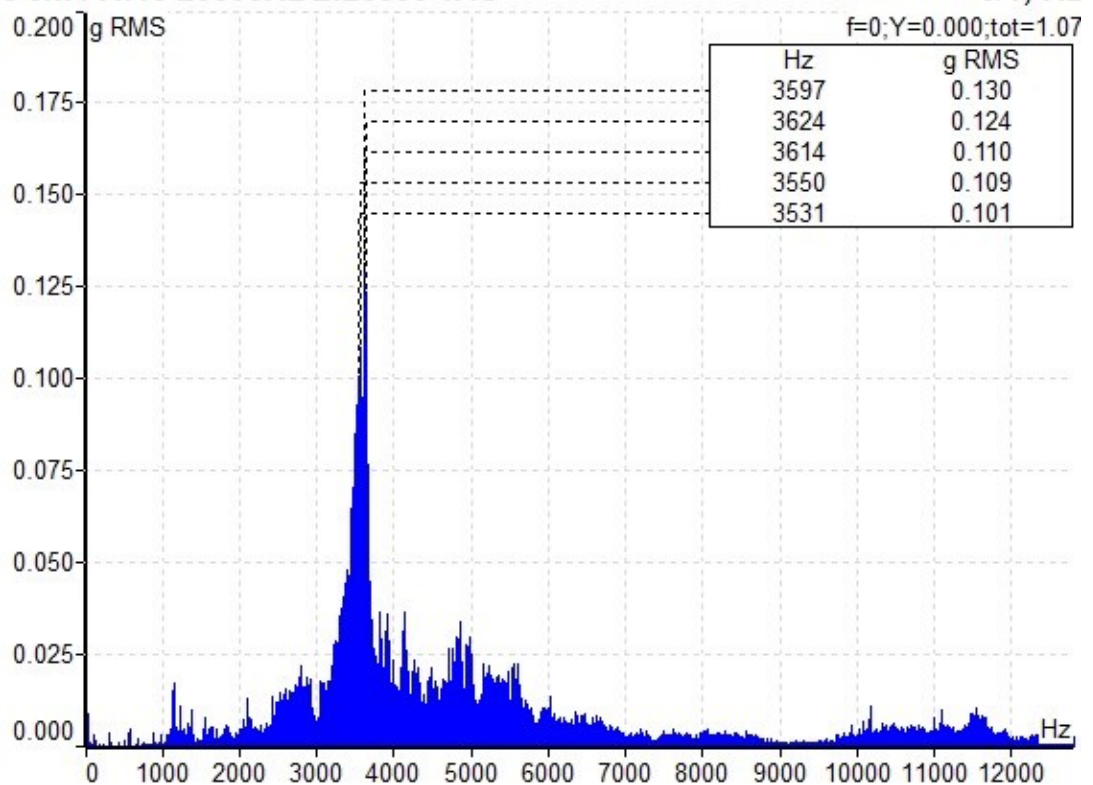
- Vyhodnocení velikosti vibrací dle ČSN ISO 10816 - 3 str. 20

Ventilátor č.15 – **Pásmo B**Ventilátor č.16 – **Pásmo C**Ventilátor č.19 – **Pásmo C**

Nejhorší výsledky byly zaznamenány na ventilátorech č.16 a č.19, proto je jim dále věnována pozornost.

7 spec ch:1 R:1-800Hz L:3200 T:4s**1/1;-Hz**

Obr. 4.18 Frekvenční spektrum rychlosti ventilátoru č.16 v měřicím místě L2 - horizontal

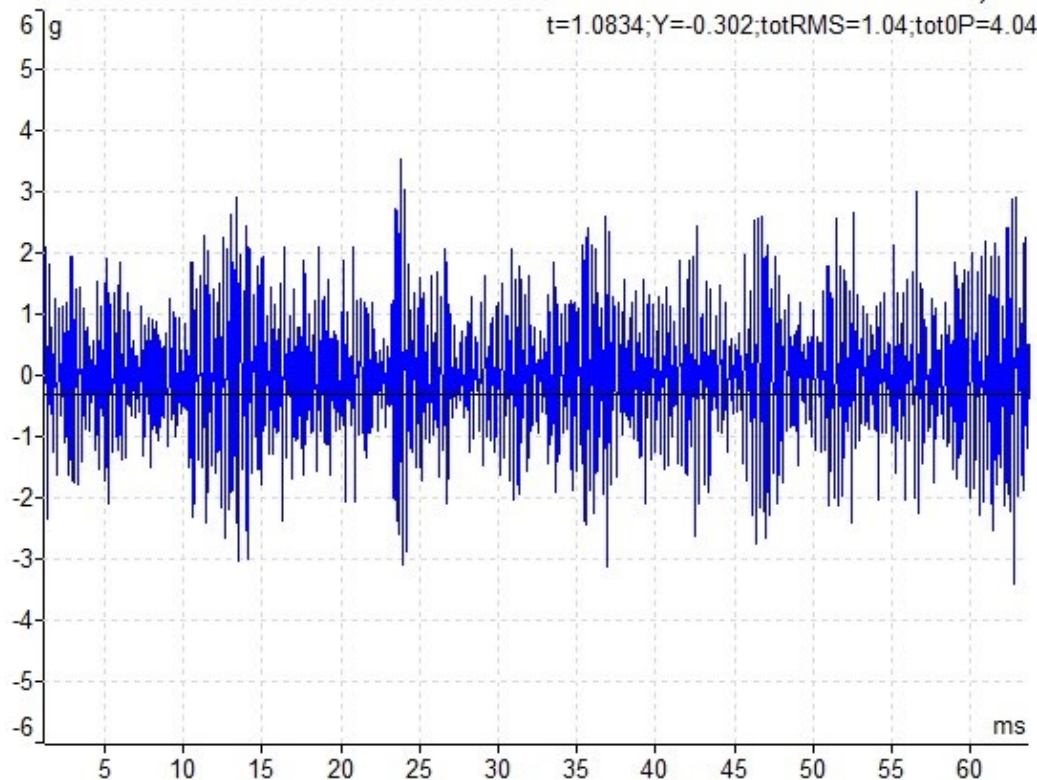
25 spec ch:1 R:10-25600Hz L:25600 T:1s**3/4;-Hz**

Obr. 4.19 Frekvenční spektrum zrychlení ventilátoru č.16 v měřicím místě L2 - horizontal

22 time ch:1 B:500-25600Hz NS:65536 T:1s

1/1;-Hz

t=1.0834;Y=-0.302;totRMS=1.04;totOP=4.04

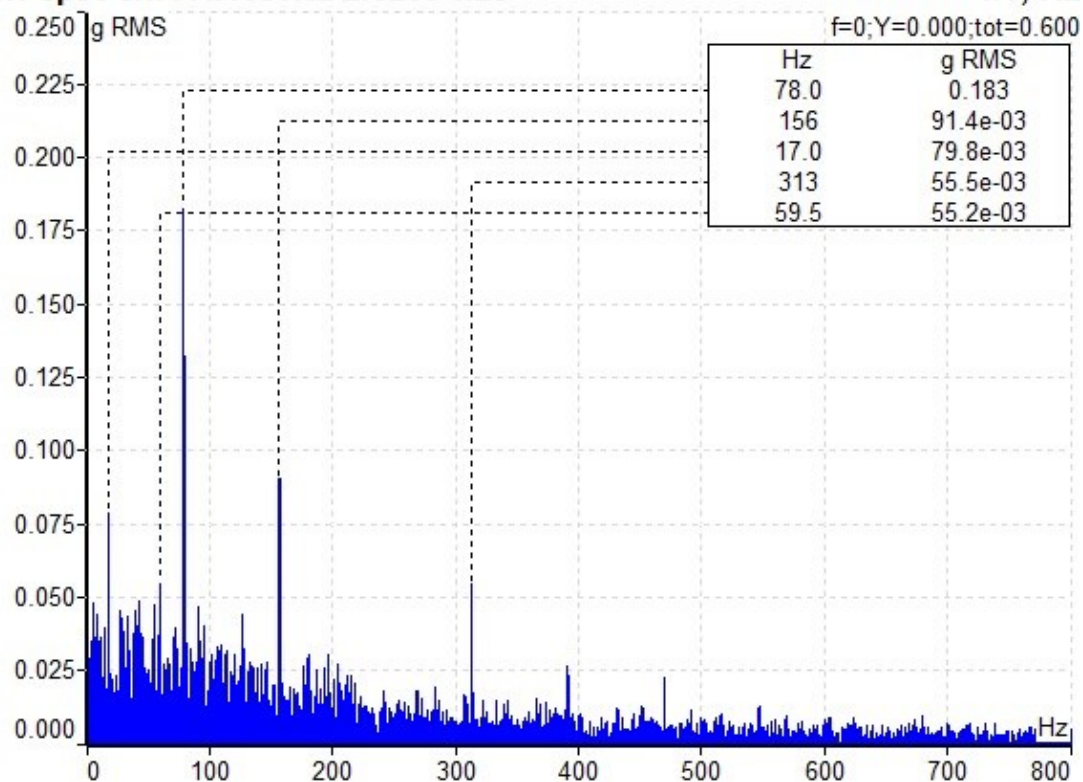


Obr. 4.20 časový záznam zrychlení ventilátoru č.16 v měřícím místě L2 - horizontal

16 g-env spec ch:1 R:1600Hz L:3200 T:2s

1/1;-Hz

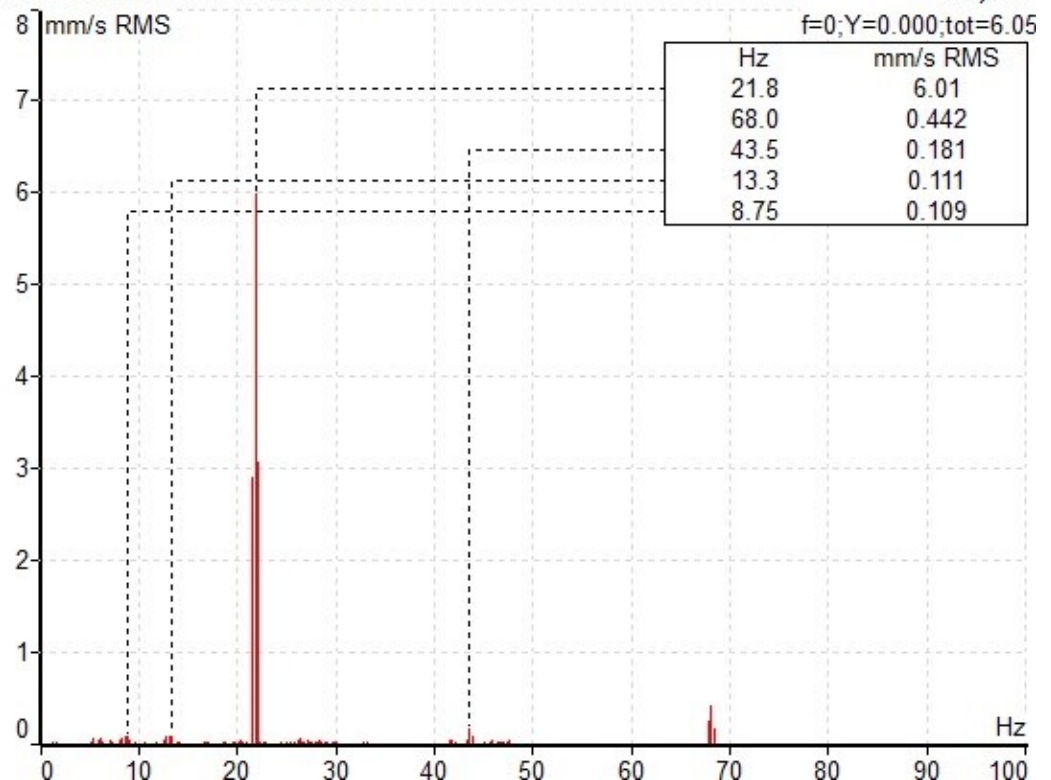
f=0;Y=0.000;tot=0.600



Obr. 4.21 Frekvenční spektrum obálky ventilátoru č.16 v měřícím místě L2 - horizontal

8 spec ch:2 R:1-800Hz L:3200 T:4s

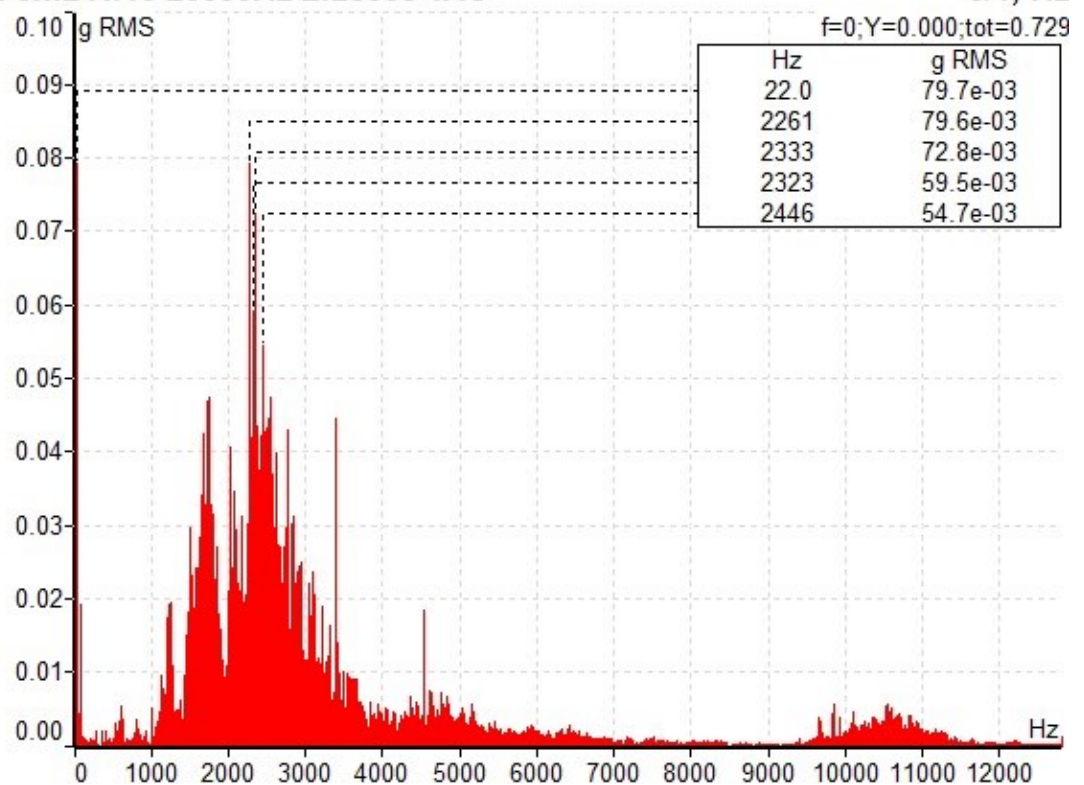
1/1;-Hz



Obr. 4.22 Frekvenční spektrum rychlosti ventilátoru č.19 v měřícím místě L1 vertikál

26 spec ch:2 R:10-25600Hz L:25600 T:1s

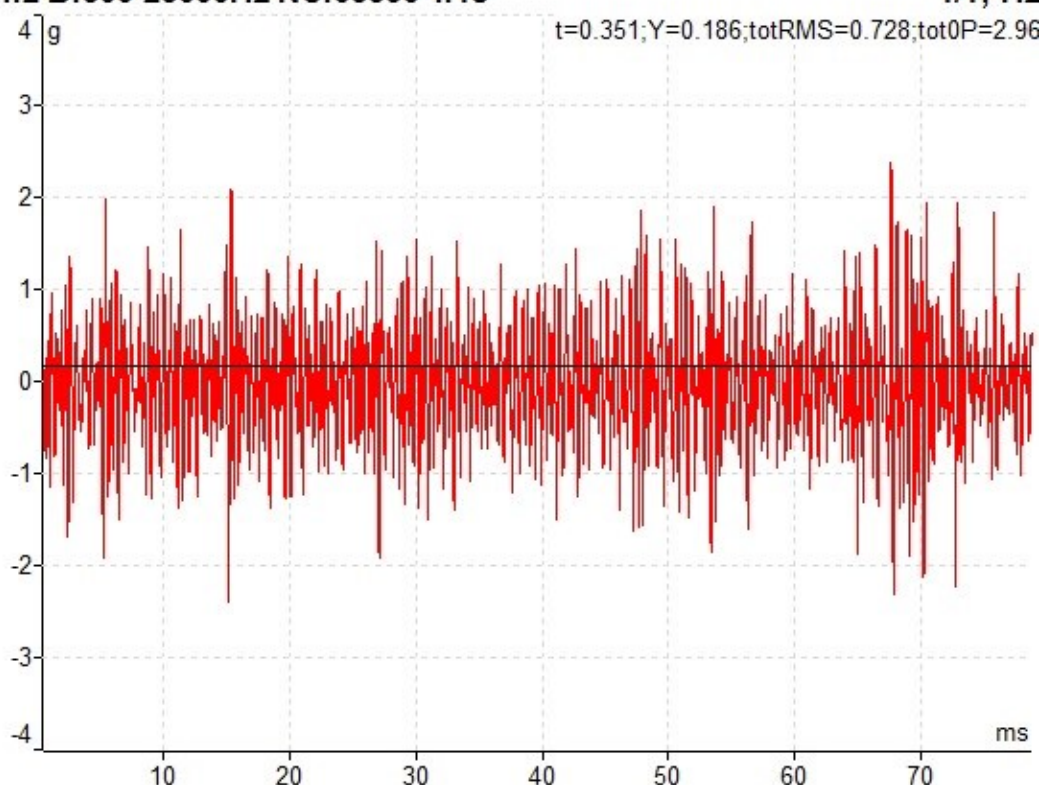
3/4;-Hz



Obr. 4.23 Frekvenční spektrum zrychlení ventilátoru č.19 v měřícím místě L1 vertikál

20 time ch:2 B:500-25600Hz NS:65536 T:1s

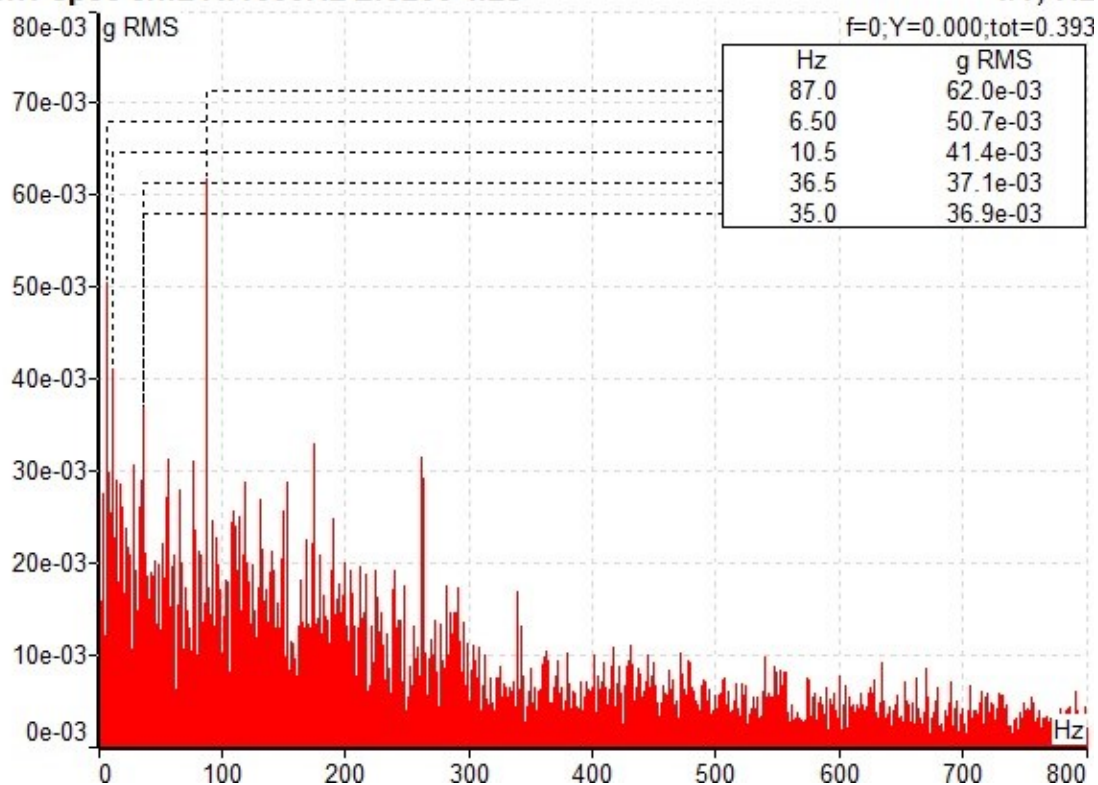
1/1;-Hz



Obr. 4.24 časový záznam zrychlení ventilátoru č.19 v měřicím místě L1 vertikál

17 g-env spec ch:2 R:1600Hz L:3200 T:2s

1/1;-Hz



Obr. 4.25 Frekvenční spektrum obálky ventilátoru č.19 v měřicím místě L1 horizontál

4 Závěr

Úkolem této bakalářské práce bylo porovnání dvou způsobů vibrodiagnostiky. ON-LINE způsob měření umožňuje neustálé sledování stavu stroje. Tento způsob však neukazuje podrobné informace o stavu stroje, jako je to u pochůzkového měření (OFF LINE). Pozitivem pochůzkového měření je lepší software na vyhodnocování stavu. Nejlepším řešením k posuzování a vyhodnocení stavu stroje je tedy kombinace obou způsobů. K měření byl použit školní přístroj firmy Adash A 4400 VA 4 PRO. Samotné měření nebylo možné určit ve všech základních směrech tedy horizontálním, vertikálním a axiálním. Horizontální a vertikální směry byly pootočený o cca 30°. Toto pootočení nemělo na vyhodnocení stavu ložisek žádný vliv.

Z grafů frekvenčních spekter (obrázky 4.18 ÷ 4.25) je čitelné, že dominantní je nevývaha. Tato nevývaha je způsobená špatným provedením konstrukce stojanu elektromotoru, která způsobuje rozkmitání ventilátorů s elektromotorem. Výsledky poukazují na mírně zhoršený stav ložisek vlivem vysokých vibrací. V ložiscích se projevuje začínající pitting. Z naměřených hodnot vyplývá, že ventilátory s elektromotorem jsou v dobrém technickém stavu schopného dalšího provozu. Na ventilátoru byly nalezeny drobné odchylky, které však tuto situaci nemění. Doporučuji zásah do konstrukce.

5 Použitá literatura

- [1] HELEBRANT, F. – ZIGLER, J.: *Technická diagnostika a spolehlivost II. – Vibrodiagnostika*. 1. vydání, VŠB – Technická univerzita ostrava, Ostrava 2004, 178 s., ISBN 80 – 248 – 0650 - 9
- [2] STUDENÝ, J. *Vibrodiagnostický systém pohony mlýna*. Bakalářská práce na Fakultě strojní VŠB – Technická univerzita Ostrava, Katedra výrobních strojů a konstruování. Vedoucí: Blata, J. Ostrava 2009. 56 s
- [3] OSMANČÍK, D. *Systém diagnostiky a údržby čerpadel*. Bakalářská práce na Fakultě strojní VŠB – Technická univerzita Ostrava, Katedra výrobních strojů a konstruování. Vedoucí: Helebrant, F. Ostrava 2012. 47 s
- [4] LANGR, P. Monitorování vibrací na valivých ložiscích. Bakalářská práce na Fakultě elektroniky a komunikačních technologií – Vysoké učení technické v Brně, Ústav automatizace a měřicí techniky. Vedoucí: Štohl, R. Brno 2011. 53 s
- [5] TŮMA, J.: Zpracování signálů získaných z mechanických systémů užitím FFT. 2. vydání, Sdělovací technika, Praha 1997, 174 s., ISBN 80 – 901936 – 1 - 7
- [6] Technická diagnostika [online]. Dostupné z WWW: < <http://jan.krivohlavy.cz/Technicka+diagnostika> >
- [7] Rockwool, a.s. [online]. Dostupné z WWW: < <http://www.rockwool.cz/> >
- [8] Vibrodiagnostika a její metody pro stanovení technického stavu strojních zařízení [online]. Dostupné z WWW: < http://vyuka.pslib.cz/ininet/images/stories/cel_inek_VIBRODIAGNOSTIKA_A_JEJ_METODY_PRO_STANOVEN_TECHNICKHO_STAVU_STROJNCH_ZAZEN.pdf >
- [9] Zjišťování příčin zvýšených vibrací rotorů turbosoustrojí [online]. Dostupné z WWW: < <http://hera.cdm.cas.cz/publications/balda/Rotvib99.pdf> >
- [10] Basic information about balancing machines [online]. Dostupné z WWW: < <http://www.shimadzu.com/sho/english/products/bla/know.html> >

[11] Terminology [online]. Dostupné z WWW: < <http://www.shimadzu.com/sho/english/products/bla/glossary.html> >

[12] Nesouosost hřidelů [online]. Dostupné z WWW: < <http://www.tpb.cz/editor/filestore/File/13.%20Nesouosost%20hridelu.pdf> >

[13] Spektrální analyzátory řady DSA815 [online]. Dostupné z WWW: < http://pandatron.cz/?3526&spektralni_analyzatory_rady_dsa815 >

[14] Čtyřkanálový vibrometr EXTECH VB500 s dataloggerem [online]. Dostupné z WWW: < <http://www.trinstruments.cz/vb500> >

[15] Nové standardy při sledování vibrací [online]. Dostupné z WWW: < <http://www.hw.cz/teorie-a-praxe/naslouchejte-svym-strojum-aneb-vibrace-a-jejich-vyznam-v-prumyslu-2-dil.html> >

[16] Vibrocontrol-1500 [online]. Dostupné z WWW: <<http://monitorovani-a-diagnostika-provozniho-stavu-stroju.spectris.cz/produkty.1/online-systemy/vibrocontrol-1500-vc-1500/>>

[17] Adash [online]. Dostupné z WWW: < <http://www.adash.cz/> >

[18] Fast fourier transformation [online]. Dostupné z WWW: < <http://soft.proindependent.com/doc/manual-en/c5779.html> >

[19] Machine diagnostics [online]. Dostupné z WWW: < <http://www.bksv.com/products/analysis-software/vibration/rotating-machinery-diagnostics/machine-diagnostics.aspx> >

[20] Vibrodiagnostika [online]. Dostupné z WWW: < <http://www.diagnostikastroju.cz/vibrodiagnostika.php> >

Poděkování

Chtěl bych poděkovat panu Ing. Davidu Závadovi a jeho spolupracovníkům z firmy Rockwool, a. s. za jejich pomoc a zpřístupnění exkurze a údajů při zpracování této práce. Mé poděkování patří i vedoucímu bakalářské práce panu Ing. Janu Blatovi Ph.D. za pomoc a připomínky k této práci.

Jakub Štefek

6 Přílohy

Příloha č. 1 CD obsahující bakalářskou práci